

**PENGARUH VARIASI BENTUK DAN UKURAN PONTON
TERHADAP KETINGGIAN AIR**

Skripsi



Rotua Bebrianita Palentina

5115102602

Skripsi ini ditulis untuk memenuhi syarat kelulusan sebagai

Sarjan Pendidikan

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2018

ABSTRAK

ROTUA BEBRIANITA PALENTINA, **PENGARUH VARIASI BENTUK DAN UKURAN PONTON TERHADAP KETINGGIAN AIR**. Skripsi. Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2018. Dosen Pembimbing Dr. Muhammad Rif'an, M.T dan Massus Subekti, M.T.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk dan ukuran ponton terhadap ketinggian air.

Metode penelitian yang digunakan merupakan metode Pengembangan. Pengembangan dilakukan Pada Pembangkit Tenaga Air-Laut (PLTA-GL). Dengan mengubah-ubah bentuk ponton dengan 3 variasi bentuk yaitu, kubus, tabung, dan bola namun ukuran volume tetap dan dengan mengubah-ubah variasi ukuran volume ponton ke dalam 3 variasi yaitu; $0,1\text{m}^3$, $0,125\text{m}^3$, dan $0,15\text{m}^3$ namun bentuk tetap.

Dari hasil penelitian di dapatkan bahwa ketinggian air tertinggi pada ponton bola dengan volume $0,15\text{ m}^3$ dengan ketinggian air sebesar 28,1575251 meter, dan ketinggian air terendah terdapat pada ponton kubus dengan volume $0,1\text{ m}^3$ dengan ketinggian air sebesar 14,01078389 meter.

Kata Kunci : *Ukuran Ponton, Bentuk Ponton, Ketinggian Air*

ABSTRACT

ROTUA BEBRIANITA PALENTINA, EFFECT OF VARIATION OF SHAPE BUOY AND SIZE BUOY TO THE WATER LEVEL. Essay. Jakarta: Faculty of Engineering, Jakarta State University 2017. Supervisor Dr. Muhammad Rif'an, M.T dan Massus Subekti, M.T.

This study aims to determine the influence of the shape and size of the buoy to the height of the air.

The research method used is the method of development. Development of PLTA-GL. By changing the shape of the buoy with 3 variations of form, ie: kubu, tube, and ball but the volume size is fixed and by changing the size of buoy with 3 variationd size of from; $0,1\text{m}^3$, $0,125\text{m}^3$, dan $0,15\text{m}^3$ but the shape is fixed.


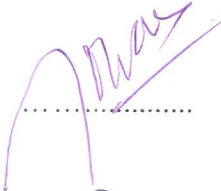
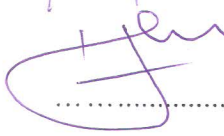

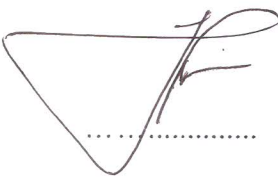
From the research results obtained that the highest water level on the buoy ball with $0,15\text{m}^3$ whit water height of 28,1575251 meters and the lowest water level is on the buoy shaped cubes with volume $0,1\text{m}^3$ with water level of 14,01078389 meters

Keywords: *Size Ponton, Shape of ponton, water level*

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI BENTUK DAN UKURAN PONTON TERHADAP
KETINGGIAN AIR
ROTUA BEBRIANITA PALENTINA / 5115102602**

PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Prof. Dr. Suyitno, M.Pd (Ketua Penguji)	
Moch. Djaohar, M.Sc (Sekretaris)	
Imam Arif R., MT (Dosen Ahli)	
Dr. Muhammad Rif'an, MT (Dosen Pembimbing I)	
Massus Subekti, S.Pd, MT (Dosen Pembimbing II)	

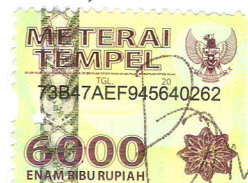
Tanggal Lulus :

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 07 februari 2018



Rotua Bebrianita Palentina

5115102602

KATA PENGANTAR

Puji syukur marilah kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, karunia, dan hidayahnya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh variasi ukuran dan bentuk ponton untuk mengoptimalkan konversi energi gelombang laut” yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Skripsi ini tidaklah dapat terwujud dengan baik tanpa adanya bimbingan, dorongan, saran-saran, dan batuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Massus Subekti, M.T., selaku ketua program studi pendidikan teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta sekaligus selaku dosen pembimbing II.
2. Bapak Dr. Muhammad Rif'an, MT., selaku dosen pembimbing I.
3. Kedua orang tua saya, bapak Darmanto Silalahi dan ibu Erlina Fitriani, serta kakak saya Rainer Basten Silalahi dan adik saya Regina Basaria Patrisia.
4. Seluruh teman-teman di program studi Pendidikan Teknik Elektro Reguler 2010.
5. Pihak-pihak yang telah memberikan sumbangsih tanpa bisa saya sebutkan satu persatu, namun tak sedikitpun mengurangi rasa hormat saya.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun, sehingga dapat menjadi bahan koreksi pada penyusunan selanjutnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan dan bagi siapapun yang membacanya.

Jakarta, 07 Februari 2018

Rotua Bebrianita Palentina

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
 DAFTAR ISI	 vi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Kegunaan Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORETIK, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS	
PENELITIAN	7
2.1 Kerangka Pengembangan Produk	7
2.2 Konsep Produk Yang Dikembangkan	15
2.3 Kerangka Teoritik	18
2.3.1 Gelombang Laut	20
2.3.2 Hukum Archimedes	43
2.3.3 Densitas (Massa Jenis)	48

2.3.4 Momen Gaya	49
2.3.5 Tekanan Pada Fluida.....	50
2.3.6 Hukum Pascal.....	52
2.3.7 Pompa	53
2.3.8 Persamaan Kontinuitas	74
2.3.9 Hukum Bernouli	76
2.3.10 Pipa Pengisian	78
2.3.11 Reservoir	79
2.3.12 Turbin.....	80
2.4 Rancangan Simulasi	87
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	86
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	91
3.2 Metode Penelitian	91
3.2.1 Tujuan Pengembangan.....	91
3.2.2 Metode Pengembangan.....	91
3.2.3 Sasaran Produk.....	91
3.2.4 Instrumen	91
3.3 Produk Pengembangan.....	92
3.3.1 Tahapan Penelitian dan Pengumpulan Informasi.....	92
3.3.2 Teknik Perencanaan.....	94
3.3.2 Tahapan Desain Produk	98
3.4 Teknik Pengumpulan Data	106
3.5 Teknik Analisa Data	106
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBEHASAN	107
4.1 Hasil Pengembangan Produk.....	108
4.1.1 Tahapam Simulasi	108
4.1.2 Simulasi Matlab.....	110
4.2 Kelayakan Produk (Teori dan Empiris)	112
4.2.1 Ketinggian Air Pada Ponton Berbentuk Kubus.....	112
4.2.1.1 Ponton Bervolume $0,1 \text{ m}^3$	112

4.2.1.2 Ponton Bervolume 0,125 m ³	113
4.2.1.3 Ponton Bervolume 0,15 m ³	114
4.2.2 Ketinggian Air Pada Ponton Berbentuk Tabung	115
4.2.2.1 Ponton Bervolume 0,1 m ³	115
4.2.2.2 Ponton Bervolume 0,125 m ³	116
4.2.2.3 Ponton Bervolume 0,15 m ³	117
4.2.3 Ketinggian Air Pada Ponton Berbentuk Bola	118
4.2.3.1 Ponton Bervolume 0,1 m ³	118
4.2.3.2 Ponton Bervolume 0,125 m ³	119
4.2.3.3 Ponton Bervolume 0,15 m ³	120
4.3 Efektifitas Produk	121
4.3.1 Simulasi Variasi Bentuk Terhadap Ukuran	121
4.3.1.1 Ponton Bervolume 0,1 m ³	121
4.3.1.2 Ponton Bervolume 0,125 m ³	122
4.3.1.3 Ponton Bervolume 0,15 m ³	123
4.4 Pembahasan	124
4.4.1. Ketinggian Air	124
4.4.2 Volume Air Yang Keluar	125
4.4.3 Jumlah Volume Yang Ditampung	126
4.4.4 Volume Air Yang Dibutuhkan	127
BAB V KESIMPULAN, SARAN DAN IMPLIKASI	128
5.1 Kesimpulan	128
5.2 Saran	128
Daftar Pustaka	129
Lampiran – Lampiran	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Sifat-sifat Gelombang yang Dihasilkan di Laut.....	32
Tabel 2.2 Hubungan Antara <i>Fetch</i> dan Tinggi Gelombang yang Dihasilkan Oleh Angin yang Bertiup Dengan Kecepatan 60 Km/Jam.....	34
Tabel 2.3 Skala <i>Beaufort</i>	34
Tabel 2.4 Massa Jenis	49
Tabel 2.5 Perbandingan Gaya pada Lengan Tuas	50
Tabel 2.6 Perbandingan Panjang Langkah dengan Lengan Beban.....	74
Tabel 3.1 Variasi Bentuk dan Ukuran.....	49
Tabel 4.1 Ukuran Ponton yang Digunakan	109
Tabel 4.2 Ponton Kubus dengan Volume 0,1 m ³	112
Tabel 4.3 Ponton Kubus dengan Volume 0,125 m ³	113
Tabel 4.4 Ponton Kubus dengan Volume 0,15 m ³	114
Tabel 4.5 Ponton Tabung dengan Volume 0,1 m ³	115
Tabel 4.6 Ponton Tabung dengan Volume 0,125 m ³	116
Tabel 4.7 Ponton Tabung dengan Volume 0,15 m ³	117
Tabel 4.8 Ponton Bola dengan Volume 0,1 m ³	118
Tabel 4.9 Ponton Bola dengan Volume 0,125 m ³	119
Tabel 4.10 Ponton Bola dengan Volume 0,15 m ³	120
Tabel 4.11 Hasil Simulasi Pada Volume 0,1 m ³	121

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Pada Volume 0,125 m ³	122
Tabel 4.13 Hasil Simulasi Pada Volume 0,15 m ³	123
Tabel 4.14 Hasil Simulasi Ketinggian Air dan Hasil Perhitungan Ketinggian Air	124
Tabel 4.15 Hasil Simulasi dan Perhitungan Pada Volume Air yang Keluar.....	125
Tabel 4.16 Hasil Simulasi dan Perhitungan Jumlah Air yang Ditampung	126
Tabel 4.17 Hasil Simulasi dan Perhitungan Volume Air yang Dibutuhkan	127

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Attenuator	7
Gambar 2.2 Pelamis	8
Gambar 2.3 Oscillating Water Column (OWC)	8
Gambar 2.4 Limpet	9
Gambar 2.5 Overtopping Device	10
Gambar 2.6 Wave Dragon	10
Gambar 2.7 Oscillating Wave Converter (OWSC)	11
Gambar 2.8 Wraspa	12
Gambar 2.9 Point Absorber	12
Gambar 2.10 (a) Permanent Magnet Linear Buoy, (b) Aegir Dynamo	13
Gambar 2.11 Submerged Pressure Differential	14
Gambar 2.12 Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut	14
Gambar 2.13 Ponton Berbentuk Kubus	16
Gambar 2.14 Ponton Berbentuk Tabung	16
Gambar 2.15 Ponton Berbentuk Bola	17
Gambar 2.16 Karakteristik Plastik	19
Gambar 2.17 Gelombang Air Menyebar Dari Sumbernya	20
Gambar 2.18 Gelombang yang Merambat pada Tali	21
Gambar 2.19 Gerak Pulsa ke Kanan (Tanda Panah Menunjukkan Kecepatan Partikel Tali)	22
Gambar 2.20 Puncak, Lrmbah, dan Amplitudo Gelombang	24

Gambar 2.21 Panjang Gelombang	25
Gambar 2.22 (a) Gelombang Transversal (b) Gelombang Longitudinal	26
Gambar 2.23 Conton Gelombang Permukaan (Gelombang Air)	27
Gambar 2.24 Bentuk Partikel-partikel Air di dalam Gelombang	30
Gambar 2.25 (a) Sea dan (b) Swell.....	33
Gambar 2.26 (a) Spiling Breaker dan (b) Plunging Breaker.....	37
Gambar 2.27 Rip-current	38
Gambar 2.28 Gelombang Linear	41
Gambar 2.29 Gelombang Pecah	43
Gambar 2.30 Gaya Apung.....	44
Gambar 2.31 Prinsip Archimedes.....	46
Gambar 2.32 Benda yang Mengapung dalam Keadaan Setimbang	47
Gambar 2.33 Tuas	50
Gambar 2.34 Tekanan pada Fluida.....	51
Gambar 2.35 Hukum Pascal.....	52
Gambar 2.36 Menurut Bentuk Impelernya	54
Gambar 2.37 Menurut Bentuk Rumahnya	55
Gambar 2.38 Menurut Jumlah Alirannya.....	56
Gambar 2.39 (a) Pompa Satu Tingkat (b) Pompa Banyak Tingkat.....	57
Gambar 2.40 (a) Pompa Horizontal (b) Pompa Vertikal	59
Gambar 2.41 Pompa Sumur Kering dan Basah.....	60
Gambar 2.42 Pompa Sembur.....	64
Gambar 2.43 Pompa Viscous	67
Gambar 2.44 Pompa dengan Vol.....	69

Gambar 2.45 Pompa Chopper	70
Gambar 2.46 Pompa Reccesed Impeller	70
Gambar 2.47 Pompa LFH (Low Flow High Head)	72
Gambar 2.48 Panjang Langkah	74
Gambar 2.49 Persamaan Kontinuitas.....	74
Gambar 2.50 Hukum Bernouli	76
Gambar 2.51 Pipa Pengisian	78
Gambar 2.52 Reservoir	79
Gambar 2.53 Turbin Pelton.....	83
Gambar 2.54 Aliran Turbin	83
Gambar 2.55 Turbin Turgo	84
Gambar 2.56 Turbin Crossflow	85
Gambar 2.57 Turbin Francis	86
Gambar 2.58 Turbin Kaplan dan Propeller	87
Gambar 2.59 Ikon Matlab	88
Gambar 2.60 Tampilan Awal Matlab	88
Gambar 2.61 Letak Ikon Simulasi Library.....	89
Gambar 2.62 Simulink Library Browser.....	89
Gambar 2.63 Model	90
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	93
Gambar 3.2 Variasi Bentuk Ponton.....	94
Gambar 3.3 Simulasi Luas Permukaan Kubus.....	99
Gambar 3.4 Simulasi Luas Permukaan Tabung	99
Gambar 3.5 Simulasi Luas Permukaan Bola.....	100

Gambar 3.6 Simulasi Luas Permukaan yang Terendam.....	100
Gambar 3.7 Simulasi Gaya Ponton.....	101
Gambar 3.8 Simulasi Gaya Pompa.....	102
Gambar 3.9 Simulasi Ketinggian Air Keluar Pompa	103
Gambar 3.10 Simulasi Luas Permukaan Pada Pompa.....	103
Gambar 3.11 Simulasi Volume Air Keluar Pompa	104
Gambar 3.12 Simulasi Jumlah Air yang Ditampung di Reservoir	105
Gambar 3.13 Simulasi Volume Air yang Dibutuhkan.....	106
Gambar 4.1 Simulasi pada Ponton Bentuk Kubus.....	110
Gambar 4.2 Simulasi pada Ponton Bentuk Tabung.....	111
Gambar 4.3 Simulasi pada Ponton Bentuk Bola	111

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$ dan $0,125 \text{ m}^3$	132
Lampiran 2. Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$ dan Ponton Simulasi Ponton Tabung $0,1 \text{ m}^3$	133
Lampiran 3. Hasil Simulasi Ponton Tabung Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$ dan $0,15$ m^3	134
Lampiran 4. Hasil Simulasi Ponton Bola Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$ dan $0,125 \text{ m}^3$	135
Lampiran 5. Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$	136
Lampiran 6. Hasil Perhitungan Kubus Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$	137
Lampiran 7. Hasil Perhitungan Kubus Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$	138
Lampiran 8. Hasil Perhitungan Kubus Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$	139
Lampiran 9. Hasil Perhitungan Tabung Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$	140
Lampiran 10. Hasil Perhitungan Tabung Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$	141
Lampiran 11. Hasil Perhitungan Tabung Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$	142
Lampiran 12. Hasil Perhitungan Bola Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$	143
Lampiran 13. Hasil Perhitungan Bola Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$	144
Lampiran 14. Hasil Perhitungan Bola Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$	145

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
η_T	Effisiensi Turbin	0,7
ρ	Massa Jenis Air Laut	1.030 kg/m ³
A_1	Luas Permukaan Piston	m ²
A_2	Luas Permukaan Pipa Keluaran	m ²
D_1	Diameter Pompa	Inchi
D_1'	Diameter Pompa (meter)	meter
D_2	Diameter Reservoir	Inchi
D_2'	Diameter Reservoir (meter)	meter
F_1	Gaya Ponton	Newton
F_2	Gaya Pompa	Newton
g	Percepatan Gravitasi	9,8 m/s ²
$h_{\text{reservoir}}$	Tinggi reservoir	meter
$h_{\text{air pada reservoir}}$	Tinggi air pada reservoir	meter
h_{max}	Ketinggian Maksimal	meter
h_{net}	Ketinggian jatuh Air laut	meter
L_1	Panjang Lengan Kuasa	meter
L_2	Panjang Lengan Beban	meter
P_1	Tekanan Pompa	N/m ²
P_2	Tekanan Keluaran Pipa	N/m ²
π	Phi	3,14

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Menurut Badan Pusat statistik, jumlah penduduk Indonesia pada tahun 1920, 1961, 1971, 1980, 1990, 2000, 2010 berturut-turut ialah 60,7 juta jiwa; 97,1 juta jiwa; 119,2 juta jiwa; 146,9 juta jiwa; 178,6 juta jiwa; 205,1 juta jiwa; dan 237,6 juta jiwa. Dan menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (2013: 3) Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar ke-4 (empat) di dunia setelah Tiongkok, India, dan Amerika Serikat dengan jumlah penduduk hampir 260 juta jiwa. Sehingga, terlihat bahwa penduduk Indonesia begitu banyak dan akan terus meningkat dari waktu ke waktu. Dengan, jumlah penduduk yang besar dan terus meningkat menyebabkan permintaan konsumsi energi menjadi besar dan akan terus meningkat.

Meningkatnya kebutuhan akan energi dapat terlihat juga dari data mengenai besarnya energi yang dibutuhkan dari tahun 2004 sampai tahun 2014. Menurut Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (2016: 15), Selama periode 2004 sampai dengan 2014, konsumsi energi primer Indonesia meningkat dari 127 juta TOE (*Tonnes Oil Equivalent* atau setara ton minyak) menjadi 215 juta TOE (*Tonnes Oil Equivalent* atau setara ton minyak), atau tumbuh 5,4% per tahun. Menurut Suyitno (2011: 41) konsumsi energi dunia dari tahun 1960-1990 meningkat dari 63,5 JBMEH (jutaan barel minyak ekuivalen per hari) menjadi 173,0 JBMEH (jutaan

barel minyak ekuivalen per hari). Sehingga dapat terlihat kebutuhan energi di Indonesia dan didunia yang meningkat dari waktu ke waktu.

. Energi merupakan kemampuan untuk melakukan suatu kerja. energi dihasilkan dari beragam sumber energi seperti matahari, batu bara, angin, dan gas. Sumber energi adalah segala sesuatu yang mampu menghasilkan energi. Sumber energi dibagi menjadi sumber energi yang terbarukan dan sumber energi tak terbarukan.

Energi terbarukan merupakan energi yang ramah lingkungan dan lestari. Energi tak terbarukan merupakan sumber energi yang jumlahnya terbatas memiliki dampak negatif dari penggunaannya yaitu dapat mencemari lingkungan dan efek pemanasan global. Energi tak terbarukan meliputi batu bara, minyak bumi, nuklir dan gas bumi.

Karena energi tak terbarukan memiliki jumlah yang terbatas maka lambat laun sumber energi tersebut akan habis. Namun, kebutuhan akan energi semakin meningkat maka energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat dijadikan solusi dalam menghadapi pertumbuhan konsumsi akan energi.

Energi terbarukan dibagi menjadi energi matahari, energi air, energi panas bumi, energi biomassa, energi angin dan energi sumber daya laut. Energi matahari merupakan energi yang dihasilkan dengan memanfaatkan matahari sebagai sumbernya, misalnya *solar cell*. Energi air merupakan energi yang dihasilkan dengan pemanfaatan air sebagai sumbernya misalnya *micro-hydro*. Energi panas bumi merupakan energi yang dihasilkan dengan memanfaatkan panas bumi sebagai sumbernya,

misalnya energi panas bumi. Energi biomassa merupakan energi yang dihasilkan dengan memanfaatkan sampah sebagai sumbernya, misalnya bio-massa. Energi angin merupakan energi yang berasal dengan memanfaatkan tenaga angin, misalnya energi angin. Energi sumber daya laut merupakan energi yang dihasilkan dengan memanfaatkan laut, misalnya energi gelombang laut.

Energi sumber daya laut terdiri dari, energi pasang surut (*tidal mpower*), energi gelombang laut (*wave energy*), energi arus laut dan energi panas laut (*ocean thermal energy*). Energi pasang surut adalah energi yang dihasilkan dari keadaan laut saat pasang dan surut yang aliran airnya dapat menggerakkan turbin untuk membangkitkan listrik. Energi panas laut adalah energi yang dihasilkan dari perbedaan temperatur untuk menghasilkan energi. Energi arus laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal. Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan akibat hembusan angin di permukaan laut.

Menurut Kementrian Kelautan dan Perikanan (2013: 3) Indonesia merupakan negara yang memiliki pantai sepanjang lebih dari 81.000 km dengan 17.508 pulau dan porsi luasan laut mencapai 2/3 dari total luas keseluruhan wilayah. Sehingga, dapat terlihat bahwa Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi yang besar pada sumber daya lautnya.

Menurut Kementrian ESDM (2016:22), potensi energi gelombang laut di Indonesia cukup besar berkisar antara 10-20 kW per meter gelombang, meskipun cukup menjanjikan namun pengembangan teknologi

pemanfaatkan energi gelombang laut di Indonesia saat ini masih belum optimal.

Untuk mendapatkan Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) yang optimal diperlukan penelitian yang mendalam. Penelitian yang dilakukan sebelumnya ialah mengenai pengaruh tiap unit (jumlah ponton, panjang lengan kuasa, dan diameter pompa) dengan ketinggian maksimal, debit jatuh air dan daya yang dihasilkan. Peneliti menambah dan mengurangi jumlah ponton, panjang lengan kuasa, dan diameter pompa. Setelah mendapatkan performa yang optimal, penelitian dilanjutkan dengan meneliti pengaruh ponton dan gelombang laut terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) sehingga dapat menghasilkan kinerja yang optimal.

Untuk mendapatkan ponton yang optimal maka peneliti meneliti pengaruh variasi bentuk dan ukuran ponton. Di mana, Ponton merupakan suatu alat konversi tenaga gelombang laut yang bergerak naik turun secara periodik berdasarkan gelombang laut.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yang berkaitan dengan latar belakang permasalahan penelitian ini:

1. Adakah pengaruh variasi bentuk dan ukuran ponton terhadap ketinggian air?
2. Apa pengaruh variasi bentuk dan ukuran ponton terhadap ketinggian air?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil pembahasan terarah, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini hanya pada simulasi dengan 3 variasi bentuk (kubus, tabung, dan bola) dan 3 variasi ukuran pada ponton.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut : Apakah variasi bentuk dan ukuran ponton berpengaruh terhadap ketinggian air?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pembuatan penelitian ini adalah untuk : Mengetahui pengaruh bentuk dan ukuran ponton terhadap ketinggian air yang nantinya akan digunakan dalam mengkonversi energi gelombang menjadi energi mekanik yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk: PLTA-GL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) agar dapat mengoptimasi pemanfaatan gelombang laut menjadi energi listrik.

Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat bermanfaat untuk Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, khususnya dalam bidang kependidikan yaitu sebagai penelitian yang dapat dipelajari tentang pengaruh variasi ukuran dan bentuk ponton terhadap

ketinggian air yang berguna untuk mengoptimatimasi PLTA-GL
(Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Pengembangan Produk

Pembangkir Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) merupakan proses konversi dari gelombang laut menjadi energi listrik secara berkesinambungan. Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) memanfaatkan energi gelombang laut sebagai sumber energi lalu diubah menjadi energi listrik. Beberapa jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) :

1. Attenuator

Prinsip kerja attenuator yaitu, dengan meletakkan alat attenuator di permukaan air laut untuk menghasilkan energi listrik. Attenuator dapat di lihat pada gambar 2.1.

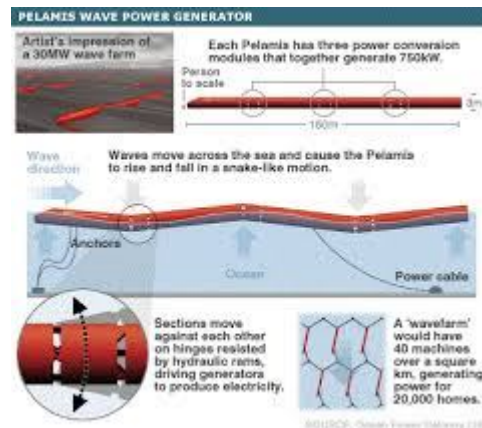


Gambar 2.1 Attenuator

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

Penemuan lain yang menggunakan prinsip yang sama yaitu model pelamis. Pelamis merupakan teknologi yang dikembangkan oleh inggris

dan dikomersialkan ke negara-negara eropa pada tahun 2007. Pelamis dapat di lihat pada gambar 2.2.

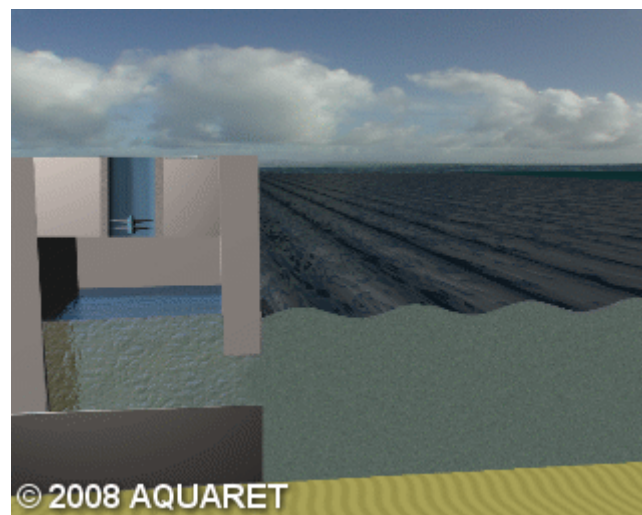


Gambar 2.2 Pelamis

Sumber : Wave Energy Technology Brief

2. Oscillating Water Column (OWC)

Prinsip Oscillating Water Column (OWC) yaitu, dengan memanfaatkan tekanan udara yang dihasilkan oleh gelombang laut dalam suatu ruangan tertutup untuk memutar turbin. Oscillating Water Column (OWC) dapat di lihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Oscillating Water Column (OWC)

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

Teknologi OWC yang dikembangkan di hawaii merupakan salah satu penemuan yang menggunakan prinsip OWC. Selain itu, limpet juga menggunakan prinsip yang serupa yaitu, dengan memanfaatkan gerakan gelombang laut yang dapat memberikan tekanan udara pada tempat tertutup. Energi gelombang dikonversi menjadi udara bertekanan yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Limpet dapat di lihat pada gambar 2.4.

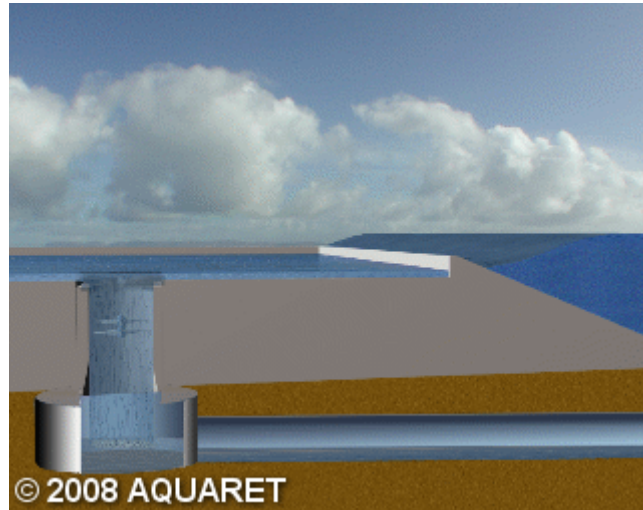


Gambar 2.4 Limpet

Sumber : Wave Energy Technology Brief

3. Overtopping Device

Overtopping Device merupakan penjebak air laut ke dalam suatu tempat di tengah laut. Air yang terkumpul secara berkesinambungan digunakan untuk memutar turbin yang terletak di bawah peralatan penjebak air laut. Overtopping Device dapat di lihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Overtopping Device

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

Pemanfaatan penjebakan air laut ini banyak jenisnya, salah satunya adalah Wave Dragon. Wave Dragon menggunakan penangkap gelombang air laut yang diarahkan kesatu tempat penampung air terpusat. Kemudian air dikontrol penggunaannya untuk memutar turbin yang terletak dibawah alat konversi. Dragon Wave dapat di lihat pada gambar 2.6.

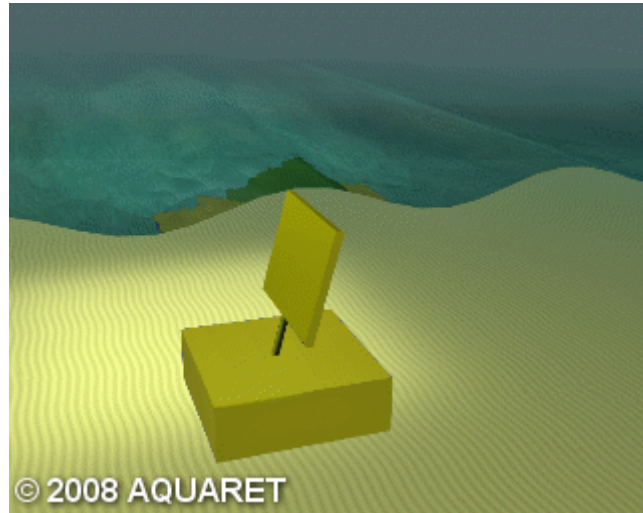


Gambar 2.6 Wave Dragon

Sumber : Wave Energy Technology Brief

4. Oscillating Wave Surge Converter (OWSC)

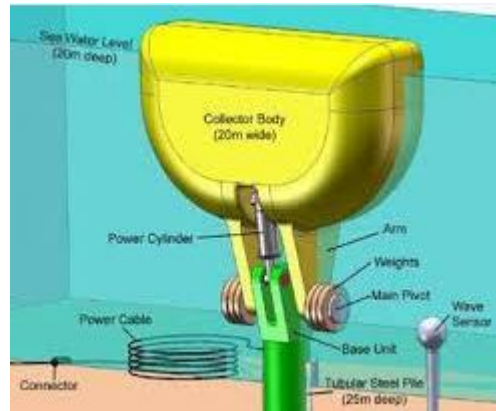
Oscillating Wave Surge Converter (OWSC) merupakan alat konversi tenaga ombak yang memanfaatkan energi horizontal gelombang laut untuk dikonversi menjadi energi listrik. Oscillating Wave dapat di lihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Oscillating Wave Surge Converter (OWSC)

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

Prinsip yang sama digunakan oleh Wraspa, dengan meletakkan alat konversi di dasar laut untuk memanfaatkan energi horizontal gelombang laut untuk dikonversi menjadi energi listrik. Wraspa dapat di lihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Wraspa

Sumber : Wave Energy Technology Brief

5. Point Absorber (Axisymmetrical)

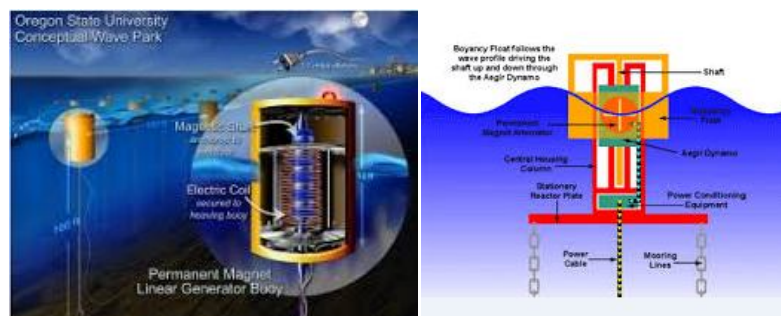
Point Absorber (Axisymmetrical) merupakan alat konversi energi gelombang dengan menempatkan pelampung di permukaan laut, memanfaatkan energi vertikal dari gelombang laut untuk menghasilkan listrik. Point Absorber (Axisymmetrical) dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Point Absorber (Axisymmetrical)

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

Penggunaan teknologi yang sama yaitu pada Aegir DynamoTM dan Permanent Magnet Linear Buoy, yaitu dengan memanfaatkan energi vertikal dengan pelampung yang diletakkan dipermukaan air laut mengkonversi energi gelombang menjadi energi penggerak turbin. Aegir DynamoTM dan Permanent Magnet Linear Buoy dapat di lihat pada gambar 2.10.

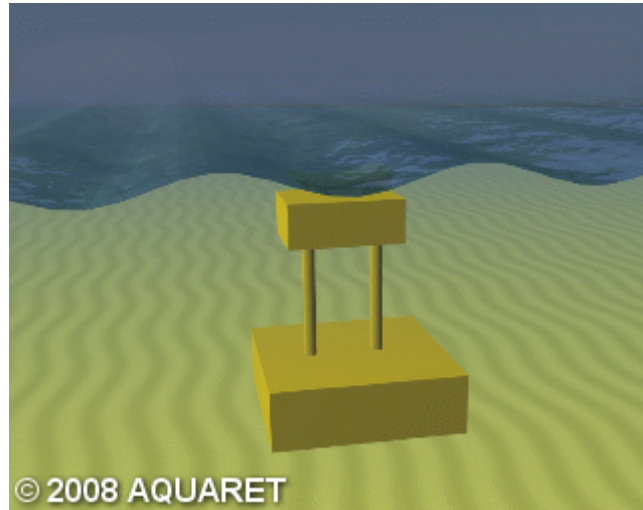


(a) (b)
Gambar 2.10 (a) Permanent Magnet Linear Buoy, (b) Aegir DynamoTM

Sumber : Ocen Energy: Global Technology Development Status

6. Submerged Pressure Differential

Submerged Pressure Differential merupakan alat konversi energi yang memanfaatkan energi vertikal gelombang laut untuk menghasilkan energi listrik. Submerged Pressure Differential hampir sama dengan point absorber namun alat konversi tidak diatas permukaan laut. Submerged Pressure Differential dapat di lihat pada gambar 2.11.

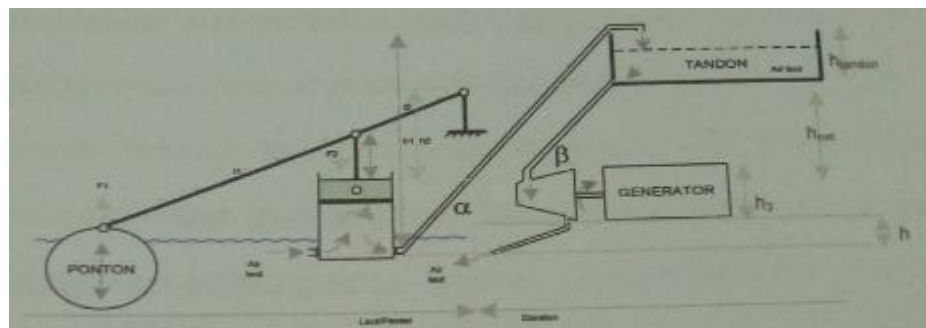


Gambar 2.11 Submerged Pressure Differential

Sumber : Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter

7. Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL)

Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) menggunakan prinsip hukum archimedes untuk menaikkan air ke reservoir yang terletak disisi atas, jumlah air yang dipindahkan sama dengan berat air yang dipindahkan akibat ponton yang terendam dalam air. Air yang berada di resevoir akan jatuh dan memutar turbin. Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) dapat di lihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL)

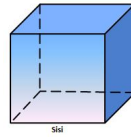
Sumber : Massus Subekti, 2009.

Ponton adalah suatu alat konversi tenaga gelombang yang bergerak naik turun secara periodik berdasarkan gelombang laut . Pergerakan ponton menyebabkan tuas bergerak, sehingga pompa yang terletak pada tengah tuas akan bekerja memompa air menuju reservoir (tandon) yang terletak di atas. Dari reservoir air dialirkan menuju turbin yang terletak di bagian bawah sistem. Sistem kerja dari reservoir (tandon) ke turbin memanfaatkan jatuh air untuk memutar turbin yang terletak satu poros dengan generator, sehingga ketika turbin berputar maka generator juga akan berputar.

2.2 Konsep Produk Yang Dikembangkan

Ponton merupakan alat untuk mengkonversi energy gelombang laut yang ditangkap dan diubah menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan ponton akan diubah menjadi energi listrik. Pada saat gelombang laut bergerak membentuk sinusoida dan menghantam ponton, ponton akan bergerak naik dan turun. Pada saat ponton naik air akan masuk ke pompa dan pada saat ponton turun barulah ponton memberikan gaya pada lengan kuasa dan melanjutkannya sehingga menjadi daya. Ponton memiliki sangat beragam bentuk. Dari beragamnya bentuk ponton, ada 3 bentuk ponton yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Kubus



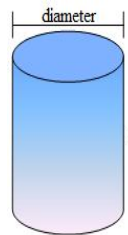
Gambar 2.13 Ponton Berbentuk Kubus

Gambar 2.13 merupakan gambar bangun kubus, di mana kubus memiliki 12 buah sisi (s) atau rusuk yang sama panjang, luas permukaan (L_p), dan volume (v) (Lusia Tri Astuti & P. Sunardi:83).

$$L_p = 6 \times s^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$V = s^3 \dots\dots\dots (2)$$

2. Tabung



Gambar 2.14 Ponton Berbentuk Tabung

Tabung adalah suatu bangun yang dibatasi oleh bidang sisi yang sejajar dan kongruen berbentuk lingkaran serta bidang sisi tegak berbentuk selongsong yang disebut selubung (Tarmudi & Ahmad Rithaudin:42). Gambar tabung dapat dilihat pada gambar 2.14. Menurut (Tarmudi & Ahmad Rithaudin:47-48) tabung memiliki luas permukaan dan volume.

Luas permukaan tabung terdiri dari: $2 \times \text{luas alas} + \text{luas selimut}$. Di mana luas alas tabung sama dengan luas lingkaran yaitu πr^2 dan luas selimut

tabung sama dengan keliling alas tabung \times tinggi tabung, yaitu $2\pi r t$.

Sehingga:

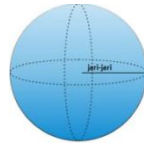
$$L_p = 2\pi r(r+t) \dots\dots\dots (3)$$

Di mana r = jari-jari tabung, t = tinggi tabung, dan $\pi=3,14$ atau $22/7$.

Volume tabung adalah nilai dari perkalian alas dengan tinggi ($L\times t$), di mana luas alas sama dengan luas lingkaran πr^2 sehingga:

$$v = \pi r^2 t \dots\dots\dots (4)$$

3. Bola



Gambar 2.15 Ponton Berbentuk bola

Gambar 2.15 merupakan gambar ponton berbentuk bola, di mana bola adalah bangun ruang yang dibatasi oleh sebuah sisi lengkung, tidak memiliki rusuk atau sudut. Menurut (Tarmudi & Ahmad Rithaudin:57-58) bola memiliki volume dan luas permukaan.

$$L_p = 4\pi r^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \dots\dots\dots (6)$$

Di mana r merupakan jari-jari dari bola dan π (π) = 3,14 atau $22/7$.

Ponton dapat dibuat dari berbagai jenis bahan namun umumnya berbahan plastik dan diletakkan mengapung di atas air laut. Bahan yang sering digunakan merupakan bahan plastik. Secara umum, nama plastik diberikan kepada barang organik yang apabila terkena panas akan melunak dan kemudian dapat dicetak agar setelah melunak dan kemudian dapat

dicetak agar setelah dingin menjadi sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Secara teknis, plastik dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. Termoplastik

Termoplastik adalah plastik yang jika dipanaskan maka molekul akan mengalami gerakan kuat, yang menyebabkan plastik akan melembut. Dan jika didinginkan, plastik akan mengeras dan berubah bentuk menjadi bentuk yang diinginkan.

b. Termoseting

Termoseting adalah plastik yang mengalami gerak molekul yang relatif lemah. Pada satu kali dilunakkan oleh panas dan diobati plastik akan mengalami suatu reaksi yang menyebabkan plastik dapat dibentuk sesuai keinginan. Plastik termoseting apabila sudah pernah dilunakkan maka plastik tersebut tidak dapat lagi dilunakkan oleh panas.

Keunggulan dari plastik adalah kuat, tahan terhadap karat dan korosi, transparan, mudah diwarnai, dapat diproduksi massal, dan bersifat isolasi terhadap listrik. Kekurangan dari plastik adalah rentan terhadap goresan, dan rentan terhadap panas (beberapa jenis plastik akan berubah bentuk bila ditempatkan didekat sumber api atau panas).

		JIS abbr.	Resin name		Standard thermal resistance (°C)	Acid resistance	Alkali resistance	Alcohol resistance
Thermoplastic resins	Generic plastics	PE	Polyethylene	Low density polyethylene	70-90	Good	Good	Good
				High density polyethylene	90-110			
		EVAC	EVA resin		70-90	Good	Good	Good
			PP	Polypropylene	100-140			
		PVC	Polyvinyl chloride		60-80	Good	Good	Good
		PS	Polystyrene (styrene resin)	Polystyrene	70-90	Good	Good	Taste of contents changes if stored for a long time
				Expanded polystyrene	70-90	Good	Good	Taste of contents changes if stored for a long time
		SAN	AS resin		80-100	Good	Good	Repeated use renders opaque
		ABS	ABS resin		70-100	Good	Good	Swells over long periods
		PET	Polybutylene terephthalate (PET resin)		Stretched film around 200	Good	Good	Good
					Unstretched film around 60			
					Heat-resistant bottle around 85			
		PMMA	Methacrylic resin (acrylic resin)		70-90	Good	Good	Gives contents a slight foreign odor
		PVAL	Polyvinyl alcohol		40-80	Softens or dissolves	Softens or dissolves	Dissolves at a low saponification point
		PVDC	Polyvinylidene chloride		130-150	Good	Good	Good
	Engineering plastics	PC	Polycarbonate		120-130	Good	Some products somewhat vulnerable (e.g. detergents)	Good
		PA	Polyamide (nylon)		80-140	Some products somewhat vulnerable	Good	Possible infiltration
		POM	Acetal resin (polyacetal)		80-120	Some products somewhat vulnerable	Good	Good
		PBT	Polybutylene terephthalate (PBT resin)		60-140	Good	Good	Good
		PTFE	Fluorocarbon resin		260	Good	Good	Good
		PF	Phenol resin		150	Good	Good	Good
		MF	Melamine resin		110-130	Good	Good	Good
Thermosetting resins	UF	Urea resin		90	Stable or very slight change	Very slight change	Good	
	PUR	Polyurethane		90-130	Somewhat vulnerable	Somewhat vulnerable	Good	
	EP	Epoxy resin		150-200	Good	Good	Good	
	UP	Unsaturated polyester resin		130-150	Good	Good	Good	

Resistensi termal standar (°C) adalah ketahanan panas masing-masing jenis resin dalam penggunaan normal. Ini tidak berlaku untuk resin generik, plastik rekayasa resin thermosetting. (Resin generik diukur dalam hal ketahanan termal jangka pendek, dan plastik rekayasa dan resin thermosetting dalam hal ketahanan termal jangka panjang.) Entri pada tabel ini telah disusun ke dalam nilai standar untuk memberi gambaran kasar tentang sifat fisiknya.

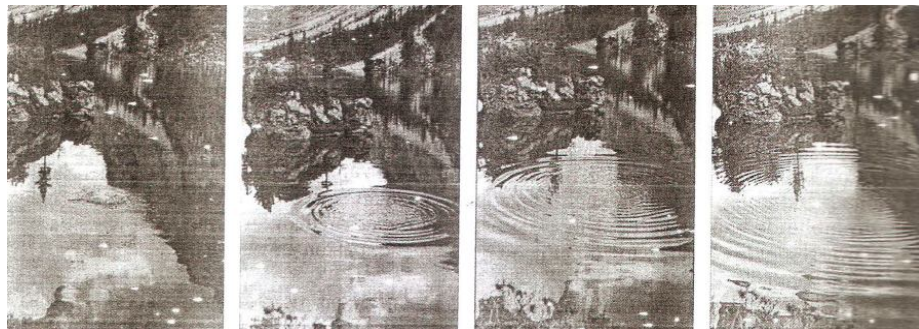
Gambar 2.16 Karakteristik Plastik

Sumber : A Introduction to Plastic Recycling

2.3 Kerangka Teoritik

2.3.1 Gelombang Laut

Ketika melempar batu ke danau atau kolam, gelombang yang berbentuk lingkaran terbentuk dan bergerak keluar (gambar 2.17). gelombang juga merambat sepanjang tali yang terentang lurus di atas meja jika anda menggetarkan satu ujung bolak-balik seperti pada gambar 2.17. Gelombang air dan gelombang pada tali adalah dua contoh umum gerak gelombang. Pasti dapat ditemui gerak gelombang jenis lain, tetapi untuk sekarang akan berkonsentrasi pada gelombang-gelombang mekanik.



Gambar 2.17 Gelombang Air Menyebar Dari Sumbernya

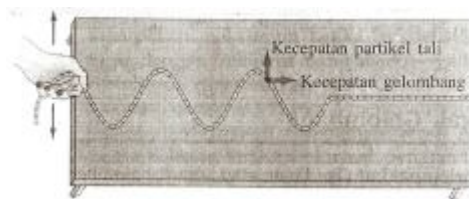
Sumber : Fisika(Giancoli:380)

Jika anda pernah melihat gelombang laut bergerak ke pantai (sebelum pecah), mungkin anda berpikir apakah gelombang tersebut membawa air dari laut lepas ke pantai. Pada kenyataannya, tidak benar. Gelombang air bergerak dengan kecepatan yang bisa diketahui, tetapi setiap partikel pada air tersebut hanya berosilasi terhadap titik

setimbang. Hal tersebut jelas terlihat dengan memperhatikan daun pada kolam sementara gelombang bergerak. Daun atau gabus tidak terbawa oleh gelombang, tetapi hanya berosilasi di sekitar titik kesetimbangan karena merupakan gerak air.

Gelombang dapat melintasi jarak yang jauh, tetapi medium (air atau tali) sendiri hanya bisa bergerak terbatas. Dengan demikian, walaupun gelombang bukan merupakan materi, pola gelombang dapat merambat pada materi.. Gelombang dapat membawa energi dari satu tempat ke tempat lain. Energi diberikan ke gelombang air, misalnya oleh batu yang dilemparkan ke air atau oleh angin di laut lepas.

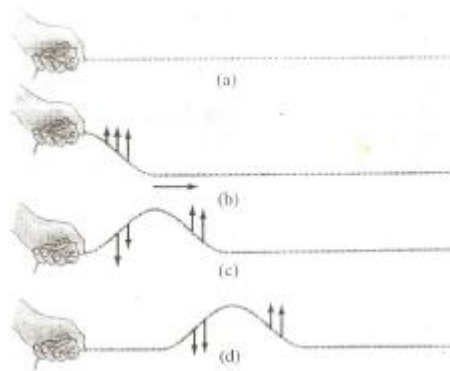
Energi dibawa oleh gelombang ke pantai, tangan yang berosilasi pada gambar 2.18 memindahkan energi ke tali yang kemudian membawa sepanjang tali dan bisa dipindahkan ke sebuah benda di ujung yang lain, sehingga semua bentuk gelombang merambat membawa energi.



Gambar 2.18 Gelombang Yang Merambat Pada Tali

Sumber : Fisika (Giancoli:380)

Mari lihat lebih teliti lagi mengenai bagaimana gelombang dibentuk dan bagaimana dapat berjalan. Pertama lihatlah satu lonjakan gelombang atau pulsa. Satu pulsa dapat dibentuk pada tali dengan gerakan tangan ke atas-bawah dengan cepat (gambar 2.19).



Gambar 2.19 Gerak Pulsa Ke Kanan (Tanda Panah Menunjukkan Kecepatan Partikel Tali)

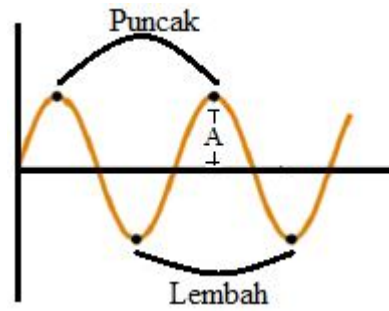
Sumber : Fisika (Giancoli:381)

Tangan menarik satu ujung tali ke atas dan karena potongan yang ada di ujung bersambung dengan potongan berikutnya, potongan tersebut juga merasakan gaya ke atas dan mulai bergerak ke atas juga. Sementara setiap potongan yang bersisian bergerak ke atas, puncak gelombang bergerak sepanjang tali. Sementara, potongan yang di ujung telah dikembalikan ke posisi semula oleh tangan, dan sementara setiap potongan tali selanjutnya mencapai posisi puncaknya, potongan tersebut juga ditarik ke bawah lagi oleh potongan disebelahnya. Dengan demikian, sumber pulsa gelombang yang berjalan adalah sebuah

gangguan dan gaya kohesi antara potongan-potongan tali yang bersisian menyebabkan pulsa merambat sepanjang tali.

Ketika sebuah getaran atau osilasi terulang sendiri, kedepan dan belakang, pada lintasan yang sama, gerakan tersebut disebut periodik. Gelombang kontinu atau periodik, seperti gambar 2.19 mempunyai sumber berupa gangguan yang kontinu dan berosilasi, yaitu sumbernya adalah getaran atau osilasi. Gelombang air bisa dihasilkan oleh benda penggetar apapun yang diletakkan di permukaan, seperti tangan anda atau air tersebut di buat bergetar ketika angin bertiup melintasinya atau sebuah batu dilempar ke dalamnya. Sebuah garpu tala atau membran drum menghasilkan gelombang suara di udara. Selanjutnya akan melihat kemudian bahwa muatan listrik yang berosilasi menyebabkan gelombang cahaya. Dan memang, hampir semua benda yang bergetar mengirimkan gelombang.

Menurut Giancoli (2001:382), Beberapa besaran mendeskripsikan gelombang sinusoida periodik yang ditunjukkan pada gambar 2.20. Titik tertinggi pada gelombang disebut puncak dan titik terendah disebut lembah. Satu puncak gelombang dan satu lembah secara berurutan disebut satu gelombang. Ketinggian maksimum puncak atau kedalaman maksimum lembah, relatif terhadap tingkat normal (setimbang) disebut amplitudo gelombang (A).



Gambar 2.20 Puncak, Lembah dan Amplitudo Gelombang

Frekuensi gelombang (f) adalah banyaknya gelombang dalam satu detik dan memiliki satuan Hertz (Hz). Periode gelombang adalah waktu (t) yang diperlukan untuk menempuh jarak sepanjang satu gelombang penuh ($n=1$) dan memiliki satuan detik (s). Secara matematis dapat dituliskan:

$$f = \frac{n}{t} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$T = \frac{t}{n} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 1 ke persamaan 2, maka:

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (2.9)$$

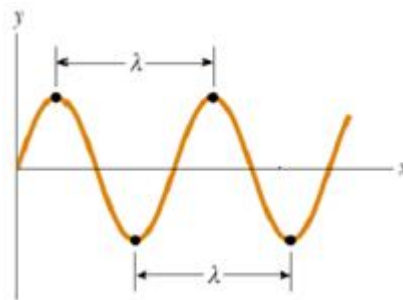
Kecapatan gelombang (v) adalah di mana puncak gelombang bergerak lebih dahulu, puncak gelombang yang bergerak menempuh jarak sepanjang satu gelombang dalam satu periode dan disebut juga perbandingan antara jarak gelombang (λ) dengan periode gelombang (T). Secara matematis dapat dituliskan:

$$v = \frac{\lambda}{T} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.9 ke persamaan 2.10, maka:

$$v = \lambda f \dots\dots\dots (2.11)$$

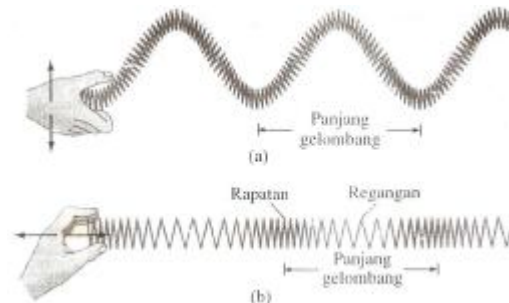
Ayunan total dari puncak ke lembah sama dengan dua kali amplitudo. Jarak antara dua puncak yang berurutan seperti pada gambar 2.21 disebut Panjang gelombang (λ). Panjang gelombang sama juga dengan jarak antara dua titik identik mana saja yang berurutan dan memiliki satuan meter (m).



Gambar 2.21 Panjang Gelombang

Berdasarkan arah rambat dan arah getarnya, gelombang dapat dibagi menjadi dua seperti pada gambar 2.22. Pertama, gelombang transversal yaitu gelombang yang arah rambat tegak lurus pada arah getarnya. Contoh ketika sebuah gelombang merambat sepanjang sebuah tali, katakanlah dari kiri ke kanan, partikel-partikel tali bergerak ke atas dan kebawah dalam arah transversal (atau tegak lurus) terhadap gerak gelombang tersebut. Kedua, gelombang longitudinal yaitu gelombang yang arah rambat dan arah getarnya

sejajar. Gelombang longitudinal di bentuk pada pegas yang terentang dengan secara bergantian menekan dan merenggangkan satu ujung.



Gamabar 2.22 (a) Gelombang Transversal

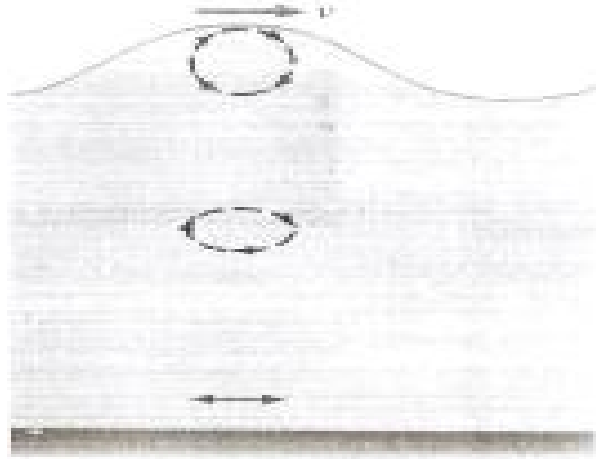
(b) Gelombang Longitudinal

Sumber : Fisika (giancoli:384)

Gelombang tranversal dan longitudinal keduanya dihasilkan ketika terjadi gempa bumi. Gelombang transversal yang merambat sepanjang tubuh bumi disebut gelombang S (S untuk *shear* atau geser) dan gelombang longitudinal disebut gelombang P (P untuk *pressure* atau tekanan). Baik gelombang longitudinal maupun transversal dapat merambat melalui zat padat karena atom-atom atau molekul-molekul dapat bergetar sekitar posisi mereka yang relatif tetap dengan arah manapun. Tetapi, pada fluida, hanya gelombang longitudinal yang bisa merambat, karena gerak transversal akan tidak mengalami gaya pemulihan karena fluida dapat mengalir.

Kombinasi antara gelombang transversal dan gelombang longitudinal disebut gelombang permukaan, seperti pada gambar 2.23.

Contoh dari gelombang permukaan yaitu gelombang air. Misalnya saja pada gelombang laut.



Gambar 2.23 Contoh Gelombang Permukaan (Gelombang Air)

Sumber : Fisika (giancoli:386)

Gelombang laut merupakan gelombang permukaan yang bergerak di perbatasan antara air dan udara. Gelombang laut selalu menimbulkan suatu ayunan air yang bergerak tanpa henti-hentinya pada lapisan permukaan laut dan jarang dalam keadaan sama sekali diam. Gerak partikel air di permukaan laut berbentuk lingkaran atau elips. Dibagian dasar laut, gerak hanya berupa longitudinal. Hembusan angin sepoi-sepoi pada cuaca yang tenang sekali pun sudah cukup untuk dapat menimbulkan riak gelombang. Sebaliknya dalam keadaan dimana terjadi badai yang besar dapat menimbulkan suatu gelombang besar yang dapat mengakibatkan suatu kerusakan hebat pada kapal-kapal atau daerah-daerah pantai.

a. Susunan Gelombang

Susunan gelombang di lautan baik bentuk maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks, sehingga mengakibatkan gelombang hampir tidak dapat diuraikan. Karena sangatlah berguna untuk membuat sebuah model gelombang buatan yang dapat digerakkan dan dikontrol secara hati-hati di dalam sebuah tangki gelombang di laboratorium. Bentuk gelombang kemungkinan tidak pernah dijumpai dalam bentuk yang tepat sama seperti yang terdapat di permukaan laut. Paling tidak bentuk gelombang ideal sudah dimungkinkan untuk dapat mengenal bentuk sebenarnya serta membantu memberikan istilah-istilah yang dapat digunakan guna menerangkan susunan gelombang yang lebih kompleks. istilah-istilah dan bagian-bagian dari gelombang seperti berikut:

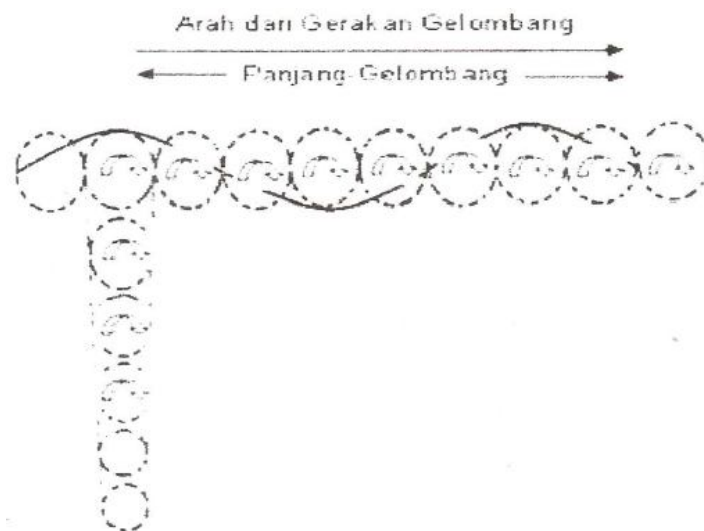
1. Crest: titik tertinggi (puncak) gelombang
2. Trough: titik terendah (lembah) gelombang
3. Wave Height (Tinggi Gelombang): Jarak vertikal antara crest dan trough.
4. Wave Length (Panjang Gelombang): jarak berturut-turut antara dua buah crest dan dua buah trough.
5. Wave Periode (Periode Gelombang): waktu yang dibutuhkan crest untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut.
6. Wave Steepness (Kemiringan Gelombang): Perbandingan antara panjang gelombang dengan tinggi gelombang.

Apabila melihat gelombang di lautan, pasti mendapat suatu kesan seolah-olah gelombang laut bergerak secara horizontal dari satu tempat ke tempat yang lain, yang kenyataannya tidaklah demikian. Suatu gelombang membentuk gerakan maju melintasi permukaan air, tetapi disana sebenarnya terjadi suatu gerakan kecil ke arah depan dari massa air tersebut. Hal tersebut lebih mudah dipahami apabila melihat sepotong gabus atau benda-benda mengapung lainnya di antara gelombang-gelombang di lautan bebas. Potongan gabus akan tampak timbul dan tenggelam sesuai dengan gerakan berturut-turut dari puncak (crest) dan lembah gelombang (trough) yang lebih atau kurang, tinggal pada tempat yang sama. Gerakan individu partikel-partikel air di dalam gelombang sama dengan gerakan dari potongan gabus, walaupun dari pengamatan yang lebih teliti menunjukkan bahwa ternyata gerakan partikel-partikel air atau gabus lebih kompleks dari gerakan yang hanya sekedar naik dan turun saja. Gerakan naik-turun adalah suatu gerakan yang membentuk sebuah lingkaran bulat. Gabus atau partikel-partikel lain yang diangkut ke atas akan membentuk setengah lingkaran dan begitu sampai di tempat tertinggi merupakan puncak gelombang (crest).

Kemudian partikel-partikel air atau gabus akan dibawa ke bawah membentuk lingkaran penuh, melewati tempat yang paling bawah yang bernama lembah gelombang (trough) pada gambar 2.24. Namun demikian gelombang-gelombang di lautan hanya

terbatas terjadi pada bagian lapisan permukaan air yang letaknya paling atas. Di dalam satu gelombang gerakan partikel-partikel akan berkurang makin lama lambat sesuai dengan makin dalamnya suatu perairan yang mengakibatkan bentuk lingkaran makin lama menjadi makin kecil.

Sebagai contoh, gelombang dilapisan permukaan yang mempunyai periode sebesar 10 detik, pengaruhnya tidak akan dijumpai lagi pada lapisan air yang mempunyai kedalaman lebih besar dari 100 meter. Peristiwa tersebut kemudian dimanfaatkan oleh para navigator kapal selam di mana mereka mengatur dan menurunkan kapal selam dari permukaan laut sampai pada kedalaman di mana tidak ada pengaruh gelombang permukaan lagi. Maksudnya adalah untuk menghindari kerusakan yang lebih parah dari keganasan gelombang permukaan laut.



Gambar 2.24 Bentuk Partikel-Partikel Air Di Dalam Gelombang. (Open University Course Oceanography. Unit 3. 1977)

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans,1985:80)

Gambar 2.24 merupakan bentuk dari sebuah gelombang dan rentetan gerakan partikel-partikel air yang ada di dalam gelombang. Walaupun gelombang bergerak makin maju ke depan, partikel-partikel di dalam gelombang akan meninggalkan jejak yang membentuk lingkaran. Jejak lingkaran yang dibuat oleh partikel-partikel akan menjadi lebih kecil sesuai dengan makin besarnya kedalaman di bawah permukaan gelombang.

Angin yang bertiup di atas permukaan laut merupakan pembangkit utama gelombang. Bentuk gelombang yang dihasilkan di sini cenderung tidak tertentu yang tergantung kepada bermacam-macam sifat seperti tinggi, periode di daerah mana mereka di bentuk. Mereka di sini dikenal sebagai sea (gambar 2.25a). kenyataannya gelombang kebanyakan berjalan pada jarak yang luas, sehingga mereka makin jauh dari tempat asalnya dan tidak lagi dipengaruhi langsung oleh angin, maka mereka akan berbentuk lebih teratur. Bentuknya dikenal sebagai swell (gambar 2.25b). sifat-sifat gelombang paling tidak dipengaruhi oleh tiga bentuk angin :

1. Kecepatan angin

Umumnya makin kencang angin yang bertiup makin besar gelombang yang terbentuk dan gelombang tersebut mempunyai kecepatan yang tinggi dan panjang gelombang yang besar. Tetapi gelombang yang terbentuk puncaknya

kurang curam jika dibandingkan dengan yang dibangkitkan oleh angin yang berkecepatan lebih lemah. Data yang disajikan dalam tabel 2.1 memperlihatkan hubungan antara kecepatan angin dan sifat-sifat gelombang.

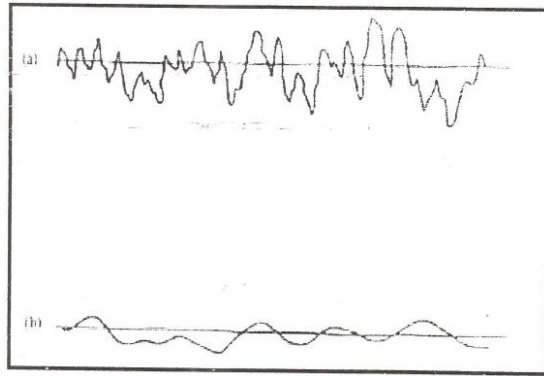
2. Waktu di mana angin sedang bertiup

Tinggi, kecepatan, dan panjang gelombang seluruh cenderung untuk meningkat sesuai dengan meningkatnya waktu pada saat angin pembangkit gelombang mulai bergerak bertiup.

Tabel 2.1 Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Sifat-sifat Gelombang yang di Hasilkan di Laut. (Mc Lellan,1968)

Wind Speed (mph)	Wave Speed (mph)	Wave Periode (s)	Wave Lenght (ft)	Wave Height (ft)	Wave Steepness (H/L)
31	25	7	250	22	0,088
35	28	8	330	24,5	0,074
42	33,5	9,5	470	29,5	0,063
50	40	11,5	670	35	0,052
59	47	13,5	930	41,5	0,045
68	54,4	15,5	1230	47,5	0,039

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans,1985:81)



Gambar 2.25 (a) Sea dan (b) Swell. (Open University Course in Oceanography. Unit 3, 1977)

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans, 1985:82)

3. Jarak tanpa rintangan di mana angin sedang bertiup (dikenal sebagai fetch).

Pentingnya fetch dapat digambarkan dengan membandingkan gelombang yang terbentuk pada kolom air yang relatif kecil seperti danau didaratan dengan yang terbentuk dilautan bebas. Gelombang yang terbentuk di danau di mana fetch-nya kecil, biasanya mempunyai panjang gelombang hanya beberapa centimeter, sedangkan yang dilautan bebas di mana fetch-nya kemungkinan lebih besar, sering mempunyai panjang gelombang sampai beberapa ratus meter. Tabel 2.2 menyajikan beberapa data di mana terlihat bahwa fetch dapat mempengaruhi tinggi gelombang.

Tabel 2.2 Hubungan antara *fetch* dan tinggi gelombang yang dihasilkan oleh angin yang bertiup dengan kecepatan 60 km/jam. (Waihaupt).

<i>Fetch (km)</i>	<i>Tinggi Gelombang Maksimum (m)</i>
5	0.90
10	1.40
20	2.00
50	3.10
100	4.20
500	6.20

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans, 1985:82)

Kompleksnya gelombang-gelombang laut membuat mereka sulit untuk dapat dijelaskan tanpa membuat mereka sulit untuk dapat dijelaskan tanpa membuat pengukuran yang teliti terlebih dahulu di mana hal tersebut kurang berguna bagi para pelaut atau nelayan. Sebagai gantinya mereka menggunakan satu cara yang mudah untuk mengetahui gelombang yaitu dengan mempergunakan satu daftar skala gelombang yang dikenal dengan nama Beaufort Scale yang memberikan keterangan mengenai kondisi gelombang dilautan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Skala Beaufort

<i>Beaufort Number</i>	<i>Wind Speed Km/hour</i>	<i>Height of Wave (m)</i>	<i>General Description of Wind</i>	<i>Condition of Sea</i>
0	<i>Less than 1</i>	0	<i>Calm</i>	<i>Sea smooth as a minor</i>
1	2-5	0.15	<i>Light Air</i>	<i>Small wavelets like scales no foam crests</i>
2	6-11	0.30	<i>Light</i>	<i>Wave short</i>

			<i>Breezier</i>	<i>crests begin to break</i>
3	12-20	0.60	<i>Gentle Breezier</i>	<i>Foam has glassy appearance not yet white</i>
4	21-29	1.60	<i>Moderate Breezier</i>	<i>Wave now longer; many white areas</i>
5	30-39	3.10	<i>Fresh Breezier</i>	<i>Wave pronounced and long; white foam crests</i>
6	40-50	4.70	<i>Strong Breezier</i>	<i>Large wave form; while foam crests all over</i>
7	51-61	6.20	<i>Moderate Gale</i>	<i>Sea heaps up; winds blows foam in streaks</i>
8	62-74	7.80	<i>Fresh Gale</i>	<i>Height of wave and crests increasing</i>
9	75-87	9.30	<i>Strong gale</i>	<i>Foam is blown in dense streaks</i>
10	88-101	10.80	<i>Whole Gale</i>	<i>High wave with long overhanging crests; large foam patches</i>
11	102-120	-	<i>Storm</i>	<i>High wave; ships in sight hidden in troughs</i>
12	<i>Above 121</i>	-	<i>Hurricane</i>	<i>Sea covered with steaky foam; air filled with spray</i>

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans, 1985:84)

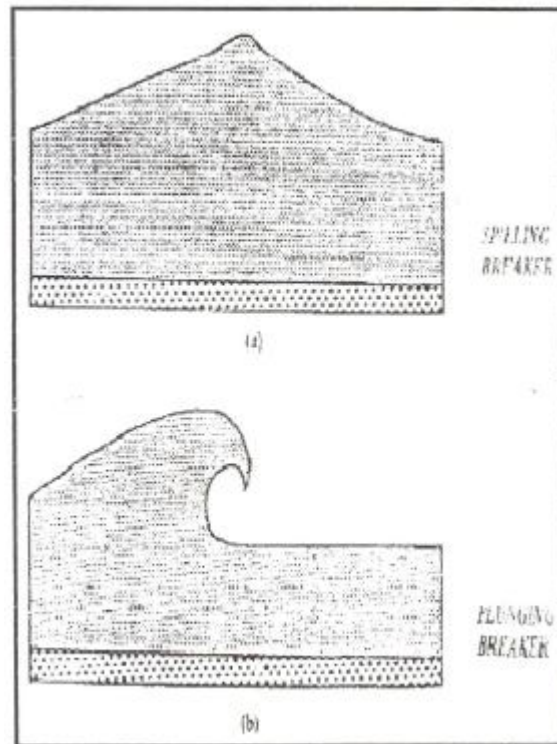
Pasang surut merupakan faktor penting, karena bisa menimbulkan arus yang cukup kuat terutama di daerah yang sempit, misalkan di teluk, estuari dan muara sungai. Elevasi muka

air pasang dan air surut sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pantai. Sebagai contoh, elevasi puncak bangunan pantai ditentukan oleh elevasi muka air, sementara kedalaman alur pelayaran dan perairan pelabuhan ditentukan oleh muka air surut. Gelombang besar yang datang ke pantai pada saat air pasang bisa menyebabkan kerusakan pantai sampai jauh ke daratan.

Tsunami adalah gelombang yang terjadi karena letusan gunung api atau gempa bumi di laut. Gelombang yang terjadi bervariasi dari 0.5 m sampai 30 m dan periode dari beberapa menit sampai sekitar satu jam (Bambang Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999;12). Tinggi gelombang tsunami dipengaruhi oleh konfigurasi dasar laut. Selama perjalanan dari tengah laut (pusat terbentuknya tsunami) menuju pantai, tinggi gelombang tsunami bisa mencapai puluhan meter.

Bentuk gelombang akan berubah dan akhirnya pecah begitu mereka sampai di pantai, hal tersebut disebabkan oleh karena gerakan melingkar dari partikel-partikel yang terletak di bagian paling bawah gelombang dipengaruhi oleh gesekan dari dasar laut di perairan yang dangkal. Bekas jalan kecil yang ditinggalkan oleh mereka kemudian berubah menjadi bentuk elips. Hal tersebut mengakibatkan perubahan yang besar terhadap sifat gelombang. Gelombang sekarang bergerak ke depan dan tinggi gelombang naik sampai mereka mencapai 80% dari kedalaman perairan.

Bentuknya kemudian menjadi tidak stabil dan akhirnya pecah, yang sering disertai dengan gerak maju ke depan yang berkekuatan sangat besar.



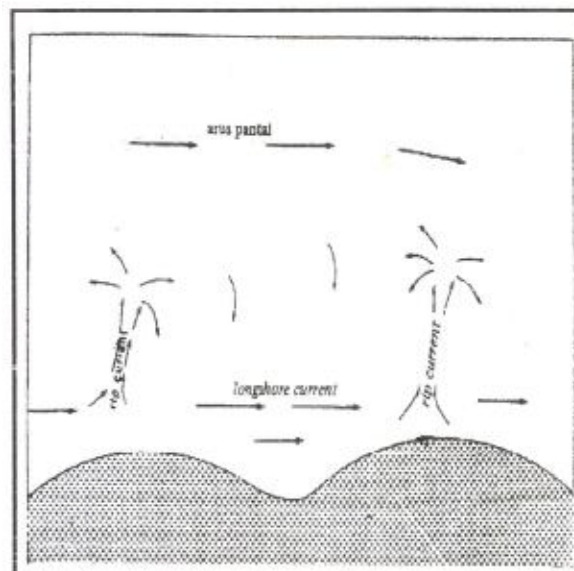
**Gambar 2.26 (a) spilling Breaker dan (b) Plunging Breaker.
(Open University Course in Oceanography.
Unit 5, 1977)**

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans,1985:82)

Ada dua bentuk utama pecahnya gelombang. Pertama spilling Breakers yang berhubungan dengan gelombang yang curam yang dihasilkan oleh lautan ketika timbul badai (Gambar 2.26a). begitu bagian atas gelombang tertumpah ke bawah di depan puncak gelombang dan merupakan suatu proses yang terjadi secara perlahan-lahan dan kekuatan gelombang yang tidak teratur terjadi

untuk periode relatif lama. Kedua, plunging Breakers yang berhubungan dengan gelombang besar (swell) dan karena cenderung untuk terjadi beberapa hari setelah berlalunya badai atau tidak seberapa jauh dari pusat badai tersebut (Sahala Hutabarat dan Stewart M. Evan, Pengantar Oseanografi, 1985:85)

Pecahan gelombang di sini mempunyai bentuk cembung ke belakang tetapi puncak gelombang melengkung ke depan berbentuk cekung ke arah muka (Gambar 2.26b). proses tertumpahnya gelombang ke bawah disertai dengan tenaga yang sangat besar, walaupun mereka kemungkinan tampaknya kurang dahsyat jika dibandingkan mereka meliputi daerah yang kecil dan jenis gelombang Plunging Breaker mampu menimbulkan kehancuran yang hebat.



Gamabar 2.27 Rip-currents. (Meadows dan Campbell, 1978)

Sumber : Pengantar Oseanografi (Sahala Hutabarat & Stewart M. Evans,1985:86)

Bila sebuah gelombang pecah, airnya akan dilemparkan jauh ke depan sampai mencapai daerah pantai. Beberapa diantaranya akan kembali lagi ke laut, mengalir sebagai sebuah arus yang ada di bawah permukaan. Air pun di angkut sebagai sebuah arus yang sejajar dengan pantai. Air yang demikian akan diteruskan sampai mereka bertemu dengan daerah yang dibatasi oleh aliran-aliran yang di kenal sebagai *rip-current* (Gamabar 2.27), yang mengalir kembali ke dalam lautan melalui daerah yang bergelombang besar. Daerah yang aliran airnya paling cepat di *sebuah rip-current* kemungkinan bisa mencapai kecepatan sungai 1 m/s dan sudah cukup kuat untuk memotong sebuah saluran permanen yang ada di dasar laut.

Di laut, di mana rata-rata kepadatan energi per unit area dari gravitasi gelombang dipermukaan air adalah sama (sepadan) dengan kuadrat tinggi gelombang, menurut teori gelombang linier (Agus:2011:169):

$$E = \frac{1}{8}(\rho g H^2) \dots\dots\dots (2.12)$$

Di mana E adalah energi gelombang per unitu horizontal area (J/m²). Jumlah kepadatan energi kinetik dan pontesial per unit horizontal area. Kepadatan energi pontensial sama dengan energi kinetik. Keduanya berkontribusi separuh energi gelombang E, seperti yang diharapkan

dari equipartition theorem. Di gelombang samudra, efek tegangan permukaan dapat diabaikan hanya untuk panjang gelombang sekitar beberapa desimeter.

Energi yang serap oleh ponton dan diubah menjadi gaya ponton akan diubah menjadi gaya ponton. Gaya ponton yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan (henri O. Bertaux., Coastal and Oceanic bouy engineering, Gulf Publishing Corporation):

$$F = \frac{1}{4} \rho g a^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Di mana F adalah gaya yang dihasilkan dari perkalian antara konstanta yang bernilai 4 dengan massa jenis air laut (ρ), gravitasi bumi (g), dan luas permukaan ponton yang terendam kuadrat. Ponton yang berada dipermukaan laut pada posisi terendam setengah bagian sehingga luas permukaan yang terendam adalah setengah dari luas permukaan ponton ($a = \frac{1}{2} L_p$). Dan dapat dirumus sebagai berikut:

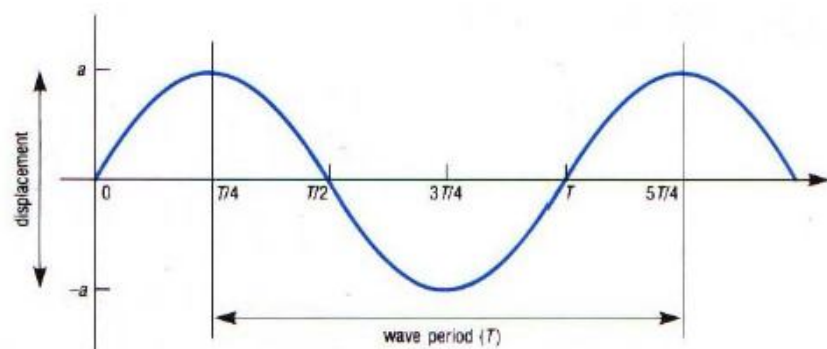
$$F = \frac{\rho g L_p^2}{16} \dots\dots\dots (2.14)$$

Secara matematik gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai teori pendekatan digunakan untuk memberi informasi ilmiah tentang sifat gelombang laut pada suatu tingkat fenomena yang aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang laut dikenal sebagai teori dari airy atau

teori gelombang linier dan para ahli membedakan sifat gelombang laut menjadi:

a. Gelombang Linier

Gelombang linier merupakan gelombang yang panjangnya lebih besar dari tinggi gelombangnya. Gelombang linier disebut juga *Swell* (gambar 2.28).



Gambar 2.28 Gelombang Linier

Sumber : Pengantar Oseanografi (Agus Supangat & Susanna,2011:144)

b. Gelombang Non-linier

Gelombang non-linier adalah gelombang yang cirinya diluar dari gelombang liner. Gelombang non-linear disebut juga gelombang pecah. Gelombang pecah terbagi menjadi (Agus Supangat & susanna:2011:182-183):

1. *Spilling*

Spirilling dicirikan oleh buih dan turbulensi di pucak gelombang. *Spilling* biasanya dimulai beberapa jarak dari pantai dan disebabkan jika lapisan air di puncak bergerak lebih cepat dari pada gelombang seluruhnya. Gelombang seperti ini dicirikan dengan kemiringan pantai yang landai. Gelombang

pecah terlihat di pantai selama badai, jika gelombang curam dan pendek (gambar 2.29).

2. *Plunging*

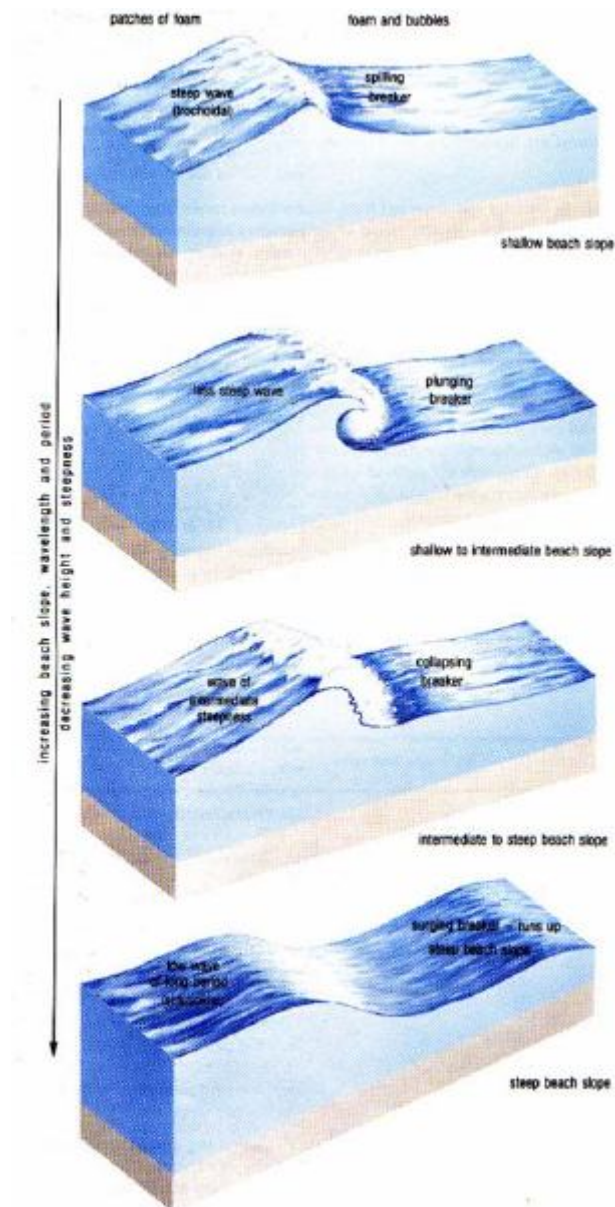
Plunging adalah jenis gelombang yang paling menakjubkan. Bentuknya yang klasik, banyak disukai oleh peselancar. Puncaknya menggulung keatas dan terjunk ke bawah, pengurangan energinya pada jarak yang pendek. *Plunging* terjadi pada pantai yang relatif landai dan berkaitan dengan *swell* yang panjang yang dibangkitkan oleh badai. Gelombang badai yang dibangkitkan secara lokal jarang membentuk *Plunging* pada pantai yang landai, tetapi pada pantai yang curam hal itu terjadi (gambar 2.29).

3. *Collapsing*

Collapsing sama dengan *plunging*, kecuali pada puncak yang menggulung, muka gelombang jatuh. Gelombang ini terjadi pada pantai dengan kemiringan yang agak curam dan di bawah kondisi angin yang sedang (gambar 2.29).

4. *Surging*

Surging terjadi pada pantai yang sangat curam, di bentuk dari gelombang yang rendah dengan periode panjang, dan muka gelombang dan puncaknya relatif tidak pecah seperti gelombang yang meluncur ke pantai (gambar 2.29).



Gambar 2.29 Gelombang Pecah

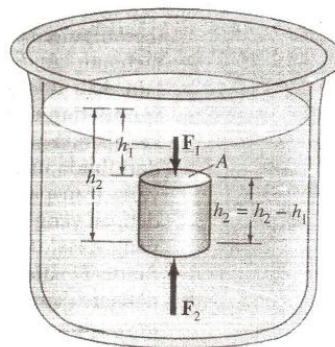
Sumber : Pengantar Oseanografi (Agus Supangat & Susanna, 2011:184)

2.3.2 Hukum Archimedes

Berdasarkan hukum Archimedes, gaya apung yang bekerja pada benda yang dimasukkan dalam fluida sama dengan berat fluida yang dipindahkannya. Ada tiga keadaan umum suatu materi, yaitu padat, cair, dan gas. Benda padat mempertahankan bentuknya yang tetap.

Benda cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, tetapi perubahan volume yang signifikan terjadi jika diberikan gaya yang besar. Sedangkan gas tidak memiliki bentuk maupun volume yang tetap, akan tetapi gas menyebar memenuhi tempatnya. karena zat cair dan gas tidak mempertahankan bentuk dan keduanya memiliki kemampuan untuk mengalir, sehingga kedua jenis zat ini sering disebut dengan fluida.

Benda yang dimasukkan ke dalam suatu fluida memiliki berat yang lebih kecil dari pada saat berada di luar fluida tersebut. Hal ini dikarenakan ada gaya tekan ke atas yang dilakukan oleh zat cair tersebut. Gaya apung terjadi karena tekanan pada fluida bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman. Dengan demikian tekanan ke atas pada permukaan bawah benda yang ditenamkan lebih besar dari tekanan ke bawah pada permukaan atasnya. Untuk melihat efek ini, perhatikan sebuah silinder dengan ketinggian (h) yang ujung atas dan bawahnya memiliki luas (A) dan terbenam seluruhnya dalam fluida dengan massa jenis ρ , seperti ditunjukkan pada gambar 2.30.



Gambar 2.30 Gaya Apung

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:333)

fluida memberikan tekanan $P = \rho_f g h$ di permukaan atas silinder. Gaya yang disebabkan oleh tekanan di bagian atas silinder ini adalah $F_1 = P_1 A_1 = \rho_f g h_1$ dan menuju ke bawah. Dengan cara yang sama, fluida memberikan gaya ke atas pada bagian bawah silinder yang sama dengan $F_2 = P_2 A_2 = \rho_f g h_2$. Gaya total yang disebabkan tekanan fluida, yang merupakan gaya apung (F_A), bekerja ke atas dengan besar:

$$F_A = F_2 - F_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$F_A = \rho_f g A (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.16)$$

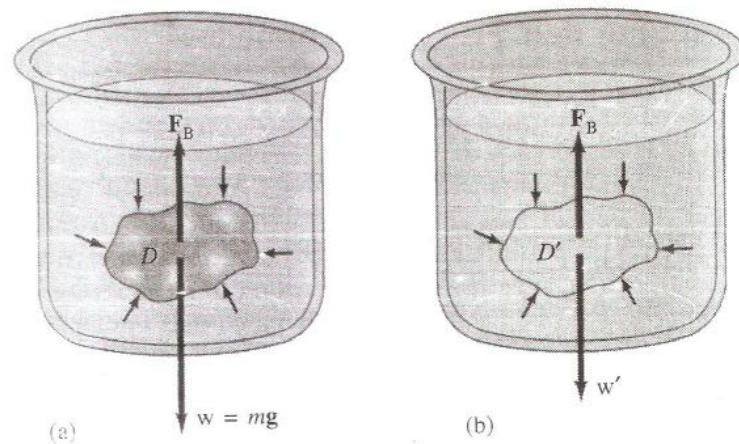
$$F_A = \rho_f g A h \dots\dots\dots (2.17)$$

$$F_A = \rho_f g A V \dots\dots\dots (2.18)$$

Di mana $V = Ah$ merupakan volume silinder. Karena ρ adalah massa jenis fluida, hasil kali $\rho g V = mg$ merupakan berat fluida yang mempunyai volume yang sama dengan volume silinder. Dengan demikian, gaya apung pada silinder sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh silinder. Hasil ini valid, tidak peduli bagaimanapun bentuk benda. Hal ini merupakan penemuan Archimedes dan disebut sebagai prinsip Archimedes (Giancoli:1999:333).

Kita dapat menurunkan prinsip Archimedes secara umum dengan mengikuti argumen yang sederhana tetapi elegan. Benda D dengan bentuk tidak beraturan yang ditunjukkan pada gambar 2.31. Mengalami gaya gravitasi (beratnya sendiri, w , ke bawah) dan gaya apung, F_A , ke atas. Kita ingin menentukan F_A . Untuk melakukan hal itu, kita kemudian melihat benda lain, kali ini terbuat dari fluida yang

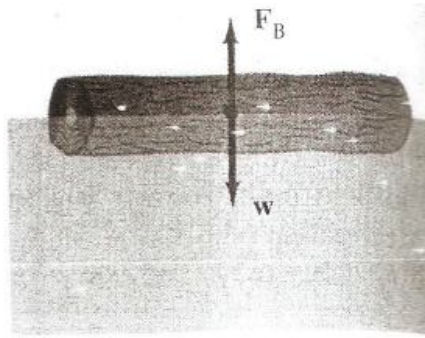
sama (D' pada gambar 2.31) dengan bentuk dan ukuran yang sama dengan benda pertama, dan ditempatkan di kedalaman yang sama. Anda bisa menganggap bahwa benda yang terbuat dari fluida ini terpisah dari fluida lainnya dengan sebuah membran imajiner yang transparan.



Gambar 2.31 Prinsip Archimedes

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:334)

Gaya apung F_A pada benda fluida ini akan persis sama dengan yang dialami oleh benda pertama karena fluida yang mengelilinginya, yang melakukan F_A , memiliki konfigurasi yang tepat sama. Sekarang benda fluida D' berada dalam kesetimbangan (fluida secara keseluruhan diam) dengan demikian, $F_A = w$. Di mana w adalah berat benda fluida. Berarti gaya apung F_A sama dengan berat benda fluida yang volumenya sama dengan volume benda pertama, yang merupakan prinsip Archimedes (Giancoli:1999:334).



Gambar 2.32 Benda Yang Mengapung Dalam Keadaan Setimbang

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:335)

Prinsip Archimedes berlaku sama baiknya untuk benda-benda yang terapung, seperti kayu. Pada umumnya, benda dapat terapung pada fluida jika massa jenisnya lebih kecil dari massa jenis fluida tersebut. Pada kesetimbangan yaitu ketika terapung (gambar 2.32), gaya apung pada benda mempunyai besar yang sama dengan berat benda. Sehingga dapat ditulis:

$$F_A = W_b \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\rho_f V_f g = \rho_b V_b g \dots\dots\dots (2.20)$$

Di mana gaya ke atas (F_A) dengan satuan Newton merupakan hasil perkalian antara massa jenis fluida (ρ_f) dalam satuan kg/m^3 , volume fluida yang dipindahkan (V_f) dalam satuan m^3 , dan gravitasi bumi (g) dalam satuan m/s^2 . Dan berat benda (w) dalam satuan Newton merupakan hasil perkalian antara massa jenis fluida (ρ_b) dalam satuan kg/m^3 , volume fluida yang dipindahkan (V_b) dalam satuan m^3 , dan gravitasi bumi (g) dalam satuan m/s^2 .

2.3.3 Densitas (Massa Jenis)

Massa jenis merupakan pengukuran massa (m) setiap satuan volume benda (v). Nilai perbandingan antara massa dan volume suatu benda disebut sebagai besaran massa jenis atau kerapatan dan diberi simbol ρ . Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya (Giancoli, 1999:325). Secara matematis dapat dituliskan:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.21)$$

Di mana m adalah massa benda (kg) dan V (m^3) merupakan volumenya. Massa jenis merupakan sifat khas dari suatu zat murni (Giancoli, 1999:325). Satuan SI (Standar Internasional) untuk massa jenis kg/m^3 . Kadang-kadang massa jenis dinyatakan dalam g/cm^3 . $1 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ g}/(100\text{cm})^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$, maka massa jenis yang dinyatakan dalam kg/m^3 harus dibagi 1000 untuk memberi hasil dalam g/cm^3 dan jenis yang dinyatakan dalam g/cm^3 harus dikali 1000 untuk memberi hasil dalam kg/m^3 . Massa jenis berbagai zat dapat dilihat pada tabel 2.4. tabel tersebut mencantumkan temperatur dan tekanan karena besaran-besaran ini mempengaruhi massa zat (walaupun efeknya kecil untuk zat cair dan padat).

Tabel 2.4 Massa Jenis

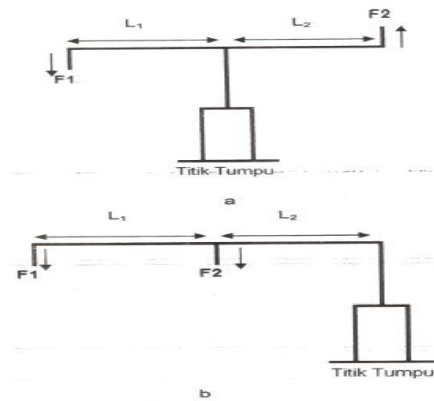
Massa Jenis Beberapa Zat*			
Zat	Massa Jenis, ρ (kg/m^3)	Zat	Massa Jenis, ρ (kg/m^3)
Padat		Alkohol, ethyl	$0,79 \times 10^3$
Aluminium	$2,70 \times 10^3$	Bensin	$0,68 \times 10^3$
Besi dan Baja	$7,8 \times 10^3$	Gas	
Tembaga	$8,9 \times 10^3$	Udara	1,29
Timah	$11,3 \times 10^3$	Helium	0,179
Emas	$19,3 \times 10^3$	Karbondioksida	1,98
Beton	$2,3 \times 10^3$	Air, uap (100°C)	0,598
Granit	$2,7 \times 10^3$	Cair	
Kayu (biasa)	$0,3-0,9 \times 10^3$	Air (4°C)	$1,00 \times 10^3$
Gelas, umum	$2,4-2,8 \times 10^3$	Darah, plasma	$1,03 \times 10^3$
Es	$0,917 \times 10^3$	Darah, keseluruhan	$1,05 \times 10^3$
Tulang	$1,7-2,0 \times 10^3$	Air laut	$1,025 \times 10^3$
Cair		Air raksa	$13,6 \times 10^3$
Air (4°C)	$1,00 \times 10^3$	Alkohol, ethyl	$0,79 \times 10^3$
Darah, plasma	$1,03 \times 10^3$	Bensin	$0,68 \times 10^3$
Darah, keseluruhan	$1,05 \times 10^3$	Gas	
Air laut	$1,025 \times 10^3$	Udara	1,29
Air raksa	$13,6 \times 10^3$	Helium	0,179
*Massa jenis dinyatakan pada 0°C dan tekanan 1 atm kecuali dinyatakan lain			

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:326)

2.3.4 Momen Gaya

Momen gaya adalah efek putar dari sebuah gaya terhadap sumbu putar. Besarnya momen gaya adalah perkalian gaya terhadap jarak (garis tegak lurus terhadap garis kerja gaya) (Giancoli, 1999:287-291).

$$\tau = F \cdot d \dots\dots\dots (2.22)$$



Gambar 2.33 Tuas

Agar resultan momen gaya terhadap titik O sama dengan nol maka persamaan yang digunakan yaitu:

$$\sum r = 0 \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk mengetahui keuntungan mekanis dari kedua tuas, maka:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \dots\dots\dots (2.24)$$

Tabel 2.5 Perbandingan Gaya pada Lengan Tuas

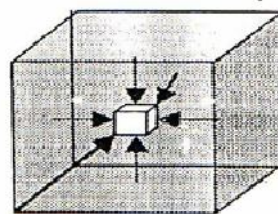
Tuas 1				Tuas 2			
l_1	l_2	F_1	F_2	l_1	l_2	F_1	F_2
1	3	F_1	$1/3 F_1$	4	1	$4F_1$	$4F_1$
2	2	F_1	F_1	4	2	$2F_1$	F_1
3	1	$3F_1$	$3F_1$	4	3	$4F_1$	$4/3 F_1$

2.3.5 Tekanan Pada Fluida

Tekanan (P) dapat didefinisikan sebagai gaya (F) yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan (A), tekanan juga memiliki satuan yaitu N/m^2 atau Pascal (diberi nama pascal untuk menghormati Blaise Pascal yaitu seorang ilmuwan) (Giancoli, 1999:326).

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.25)$$

Fluida merupakan zat yang dapat mengalir. Fluida dapat berbentuk zat cair maupun zat gas. Fluida memiliki sifat yaitu selalu memberikan tekanan kesegala arah walaupun fluida terlihat tenang. Setiap titik pada fluida yang diam, besarnya tekanan dari seluruh arah tetap sama. Gambar 2.27, Merupakan ilustrasi tekanan pada satu sisi harus sama dengan tekanan disisi sebaliknya. Sifat yang penting dari fluida yang berada dalam keadaan diam adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan fluida selalu bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan dengannya.



Gambar 2.34 Tekanan pada Fluida

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:326)

Secara kuantitatif, tekanan zat cair dengan massa jenis yang serba sama berubah terhadap tekanan. Hal ini terjadi karena tekanan yang terjadi disebabkan oleh berat kolom zat cair di atasnya. Jika mengukur tekanan pada ketinggian h dengan satuan luas meter dan luas penampang atau wadah (A) dengan satuan meter persegi (m^2), dengan demikian gaya yang bekerja pada luas daerah tersebut adalah (Giancoli, 1999:327):

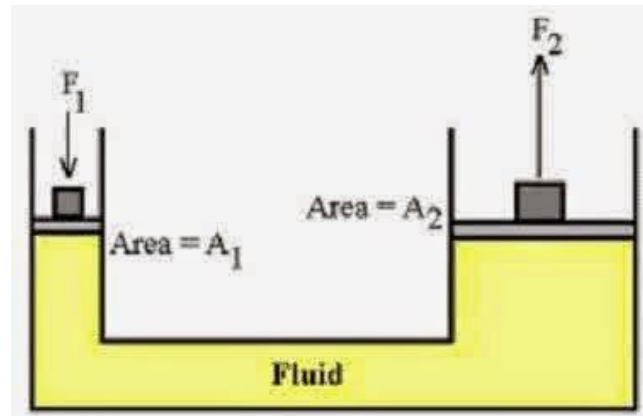
$$F = mg = \rho Ahg \dots\dots\dots (2.26)$$

$$m = \rho Ah \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.26 ke persamaan 2.27, maka:

$$P = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh \dots\dots\dots (2.28)$$

2.3.6 Hukum Pascal



Gambar 2.35 Hukum Pascal

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:342)

Pada gambar 2.35 menunjukkan suatu alat berupa dua tabung yang berhubungan diisi zat cair. Menurut Giancoli (1999:330), masing-masing tabung berbeda diameternya ditutup dengan sebuah penghisap (piston). Penampang piston kecil (A_1) dan penampang piston besar (A_2). Ketika piston kecil ditekan dengan gaya (F_1), tekanan akan disebarkan ke semua arah sama besar, termasuk ke arah piston besar sehingga terangkat ke atas. Secara sistematis dapat ditulis:

$$P_1 = P_2 \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 10 ke persamaan 14, maka:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots\dots\dots (2.30)$$

Di mana P_1 merupakan tekanan pada piston 1 dengan satuan pascal (N/m^2), P_2 merupakan tekanan pada piston 2 dengan satuan pascal (N/m^2), F_1 merupakan gaya pada piston 1 dengan satuan newton (N), F_2 merupakan gaya pada piston 2 dengan satuan newton (N), A_1 merupakan luas penampang pada piston 1 dengan satuan meter persegi (m^2), dan A_2 merupakan luas penampang pada piston 2 dengan satuan meter persegi (m^2).

2.3.7 Pompa

Pompa merupakan suatu peralatan mekanik fluida yang memiliki fungsi memindahkan atau menaikkan fluida dengan cara mendorong fluida langsung secara mekanik, atau dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi tekan atau energi kinetik fluida yang dapat menghisap fluida dari satu tempat dan memancarkannya ke tempat yang diinginkan.

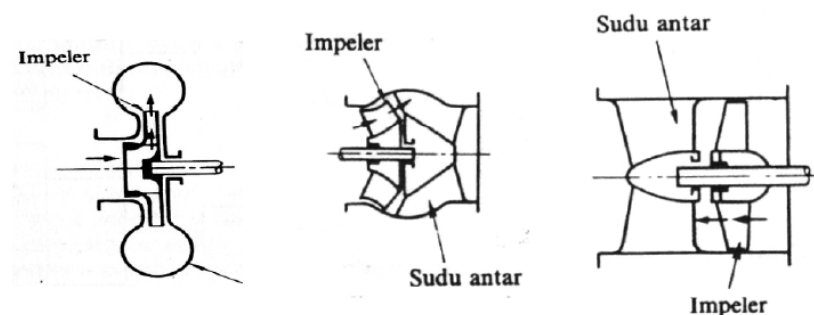
Pada pompa dengan cara kerja mengubah energi mekanik menjadi energi tekan fluida, pengubahan energi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain (Imam Santoso Ernawi:2013:10)

- a. Mengubah energi mekanik dengan menggunakan alat semacam sudu atau impeller dengan bentuk tertentu.
- b. Dengan menggunakan gerak bolak-balik piston atau semacamnya.
- c. Dengan penukaran energi menggunakan fluida perantara, baik gas atau cair. Fluida perantara ini diberi kecepatan tinggi dan dicampur dengan fluida yang di pompa dengan kecepatan rendah. Cara ini bisa menggunakan pompa jet.

- d. Dengan menggunakan udara atau gas bertekanan tinggi yang diinjeksikan ke dalam suatu saluran yang berisi fluida yang di pompa.

Penghisapan fluida pada sisi hisap (suction) pompa dilakukan elemen pompa dengan menurunkan tekanan di dalam ruang pompa, agar terjadi perbedaan tekanan antara ruang pompa dengan mulut hisap pompa, sehingga fluida akan mengalir dari mulut hisap pompa ke ruang pompa. Selanjutnya, elemen pompa akan mendorong fluida atau memberikan tekanan terhadap fluida sehingga fluida tersebut akan mengalir dari ruang pompa ke dalam saluran tekan (discharge) melalui lubang tekan.

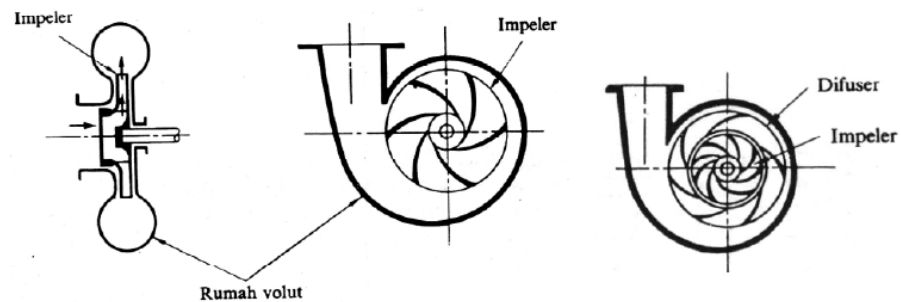
Menurut bentuk impelernya, pompa sentrifugal diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu impeler aliran radial, impeler aliran axial dan impeler aliran radial dan axial (gambar 2.36). pompa radial mempunyai konstruksi yang mengakibatkan zat cair ke luar dari impeler tegak lurus dengan poros pompa. Sedangkan untuk pompa axial, arah aliran berbentuk kerucut mengikuti impelernya.



Gambar 2.36 Menurut Bentuk Impelernya

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunnyoto,2008:100)

Menurut bentuk rumah pompa, pompa dengan rumah berbentuk volut disebut dengan pompa volut, sedangkan rumah dengan difuser disebut pompa difuser (dapat dilihat pada gambar 2.37).



Gambar 2.37 Menurut Bentuk Rumahnya

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:100)

Pada pompa difuser, dengan pemasangan difuser pada sekeliling luar impeler, akan memperbaiki efisiensi pompa dan menambah kokoh rumah pompa. dengan alasan itu, pompa jenis ini banyak dipakai pada pompa besar dengan head tinggi. Berbeda dengan pompa jenis tersebut, pompa aliran campuran sering tidak menggunakan difuser, tetapi rumah volut karena zat cair lebih mudah mengalir dan tidak tersumbat, pompa jenis ini banyak dipakai pada pengolahan limbah.

Menurut jumlah aliran yang masuk, pompa sentrifugal diklasifikasi menjadi pompa satu aliran masuk dan dua aliran masuk (gambar 2.38). pompa hisap tunggal banyak dipakai karena konstruksinya sederhana. Permasalahan pada pompa ini yaitu gaya aksial yang timbul dari sisi hisap, dapat di atasi dengan menambah ruang

pengimbang, sehingga tidak perlu lagi menggunakan bantalan aksial yang besar.



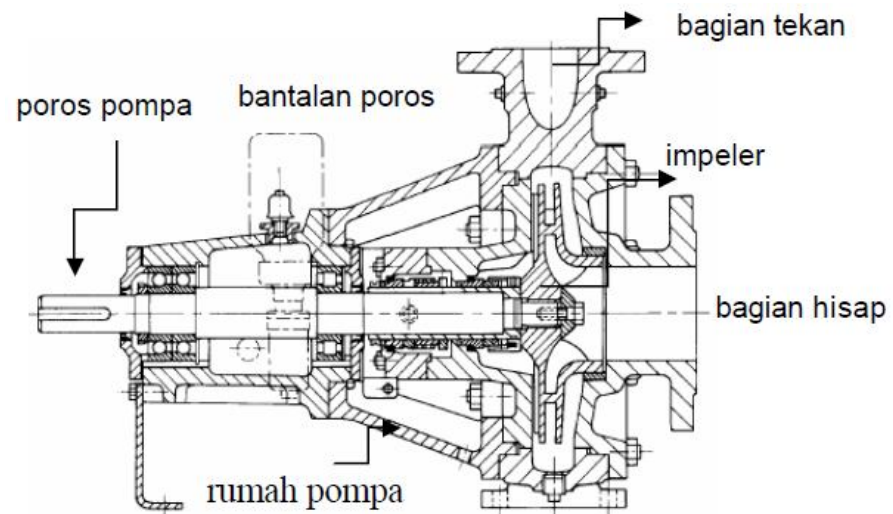
Gambar 2.38 Menurut Jumlah Alirannya

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:101)

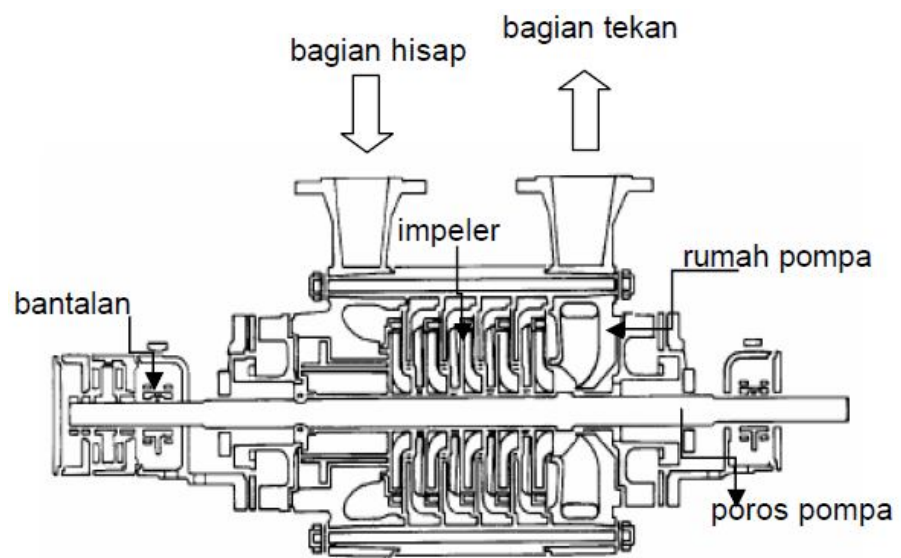
Untuk pompa dua aliran masuk banyak dipakai pada pompa berukuran besar atau sedang. Konstruksi pompa ini terdiri dua impeler saling membelakangi dan zat cair masuk dari kedua sisi impeler, dengan konstruksi seperti itu, permasalahan gaya aksial tidak muncul karena saling mengimbangi. Debit zat cair ke luar dua kali dari debit zat cair yang masuk lewat dua sisi impeler. Pompa jenis ini juga dapat beroperasi pada putaran yang tinggi. Untuk aliran masuk yang lebih dari dua, prinsip kerja sama dengan yang dua aliran masuk.

Jika pompa hanya mempunyai satu buah impeler disebut pompa satu tingkat (gambar 2.39a), yang lainnya dua tingkat, tiga tingkat dan seterusnya dinamakan pompa banyak tingkat (gambar 2.39b). Pompa satu tingkat hanya mempunyai satu impeler dengan head yang relatif rendah. Untuk yang banyak tingkat mempunyai impeler sejumlah

tingkatnya. Head total adalah jumlah dari setiap tingkat sehingga untuk pompa ini mempunyai head yang relatif tinggi.



(A)



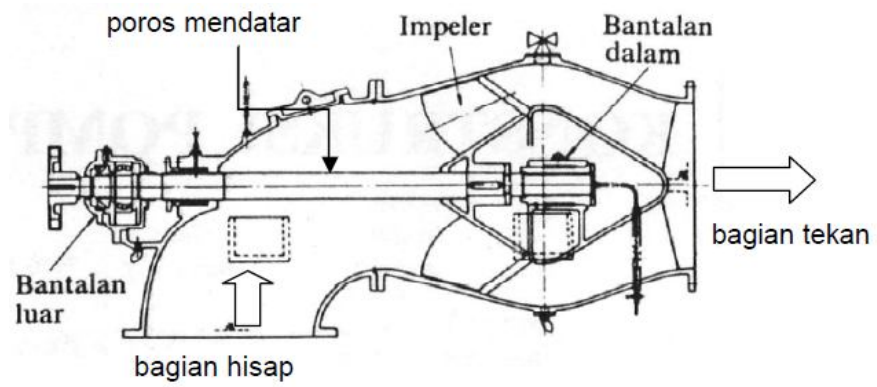
(B)

Gambar 2.39 (A) Pompa Satu Tingkat (B) Pompa Banyak Tingkat

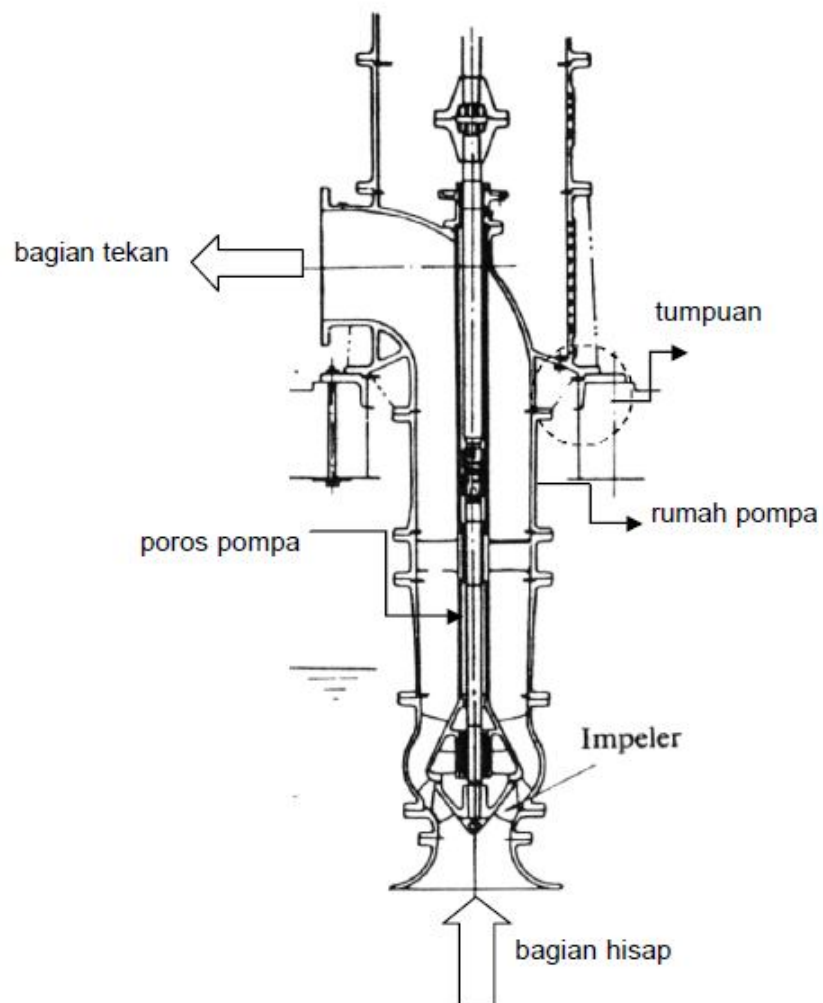
Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunnyoto,2008:101-102)

Konstruksi impeler biasanya menghadap satu arah tetapi untuk menghindari gaya aksial yang timbul dibuat saling membelakangi. Pada rumah pompa banyak tingkat, dapatnya dipasang diffuser, tetapi ada juga yang menggunakan volut. Pemasangan diffuser pada rumah pompa banyak tingkat lebih menguntungkan daripada dengan rumah volut, karena aliran dari lebih menguntungkan dari pada dengan rumah volut, karena aliran dari satu tingkat ke tingkat berikutnya lebih mudah dilakukan.

Berdasarkan dari posisi poros, pompa dibedakan menjadi dua yaitu pompa horizontal (gambar 2.40a) dan vertikal (gambar 2.40b). Pompa poros horizontal mempunyai poros dengan posisi tegak. Pompa aliran axial dan campuran banyak dibuat dengan poros tegak. Rumah pompa dipasang dengan ditopang pada lantai oleh pipa yang menyalurkan zat cair ke luar pompa. Posisi poros pompa adalah tegak dan dipasang sepanjang sumbu pipa air ke luar dan disambungkan dengan motor penggerak pada lantai. Poros ditopang oleh beberapa bantalan, sehingga kokoh dan biasanya diselubung pipa selubung yang berfungsi untuk saluran minyak pelumas.



(A)

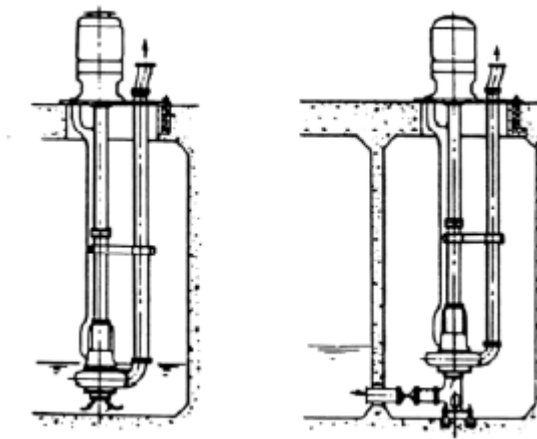


(b)

Gambar 2.40 (a) Pompa Horizontal dan (b) Pompa Vertikal

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:102-103)

Pompa poros tegak berdasarkan posisi pompanya ada dua macam yaitu pompa sumuran kering dan sumuran basah (gambar 2.41). Sumuran kering pompa dipasang di luar tadah hisap, sedangkan sumuran basah sebaliknya.



Gambar 2.41 Pompa Sumur Kering Dan Basah

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:103)

Untuk menentukan jenis pompa, perlu diketahui karakteristik pada popa yang akan dioperasikan, dengan demikian pompa tersebut bisa mencapai efisiensi maksimum sesuai dengan batas-batas kondisi kerja yang ditentukan.

Secara garis besar pompa dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu (Kementrian Pekerjaan Umum:2013:11): pompa perpindahan positif (positive displacement pump) dan pompa rotodinamik (rotodynamic pump atau non displacement pump). Pompa jenis perpindaham positif secara umum dibagi menjadi dua, yaitu (Sunyota:2008:159-170):

1. Pompa gerak bolak-balik (reciprocating)

Pompa piston atau pluger adalah pompa yang mempunyai komponen pemompa (piston atau torak, pluger, atau diagfragma) bergerak bolak-balik. Zat cair diisap melalui katup hisap kemudian ditekan menuju katup buang. Pompa jenis ini dapat diklasifikasi menjadi beberapa macam dilihat dari sumber penggeraknya dibagi menjadi dua yaitu pompa tenaga dan pompa aksi. Dari posisi komponen pemompa (torak), dibagi menjadi dua yaitu pompa horizontal dan vertikal. Kalau dilihat dari jumlah langkah buang per siklusnya, pompa jenis ini dibagi menjadi pompa aksi tunggal atau pompa aksi ganda.

Pompa torak banyak digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tekanan tinggi dan kapasitas rendah. Sebagai contoh, yaitu pompa jettakan tinggi untuk pembersihan dan pemotongan, injeksi glikol, pompa pendorong pada pipa minyak mentah, pompa tenaga hidrolik dan lain-lain. Tekanan kerja pompa torak adalah ± 3500 kPa sampai 2100 Mpa. Pompa torak juga digunakan untuk tes hidrostatik dengan tekanan kerja sampai 100 Mpa.

Pompa gerak bolak-balik bekerja dengan prinsip pengisapan, penekanan, kemudian pembuangan. Jadi melewati tiga langkah untuk menghasilkan laju aliran zat cair keluar, sehingga untuk semua jenis pompa torak, laju alirannya tidak kontinyu tetapi berdenyut menyesuaikan irama pemompaan. Namun,

dibandingkan pompa jenis sentrifugal, biaya pembuatan dan perawatan pompa torak lebih mahal.

a. Pompa piston atau plunger

1. Pompa aksi langsung (simplex atau duplex)

Pompa aksi langsung adalah pompa yang menggunakan energi luar untuk menggerakkan torak. Energi dari luar diperoleh dari fluida yang mempunyai beda tekanan. prinsip pemompaannya samadengan pompa tenag, yang berbeda hanya komponen penggeraknya.

2. Pompa daya

Pompa daya adalah pompa yang porosnya digerakkan dengan daya dari luar, daya yang dipakai biasanya adalah motor listrik dan motor bakar. Komponen utama dari pompa ini adalah silinder dengan katup hisap dan buang, torak pemompa, dan poros engkol pompa. Poros pompa dihubungkan denga penggerak dengan transmisi pengatur putaran.

a. Aksi tunggal atau aksi ganda

b. Simplex, duplex, triplex, atau multiplex

b. Pompa Diagfragma

1. Penggerak mekanik atau penggerak fluida

2. Simplex, atau duplex

2. Pompa gerak putar (*rotary*)

Pompa *rotary* adalah termasuk pompa perpindahan positif yang komponen pemompanya berputar (*rotary*), seperti lobe, roda gigi, ulir, vanes, roller. Cara kerjanya yaitu menghisap zat cair pada sisi hisap, zat cair masuk kecelah atau ruangan tekan diantara komponen pemompaan, kemudian ditekan sehingga celah semakin kecil selanjutnya zat cair dikeluarkan melalui sisi buang.

Pompa *rotary* tidak mempunyai katup hisap dan buang, penggunaannya banyak dipakai dengan zat cair yang mempunyai kekentalan tinggi. Tekanan kerja yang dihasilkan sedang atau lebih rendah dari pompa torak atau plunger. Laju alirannya stabil tidak berdenyut dengan kapasitas yang rendah.

a. Rotor tunggal

Pompa vane, torak, ulir, atau pompa flexible member

b. Rotor banyak

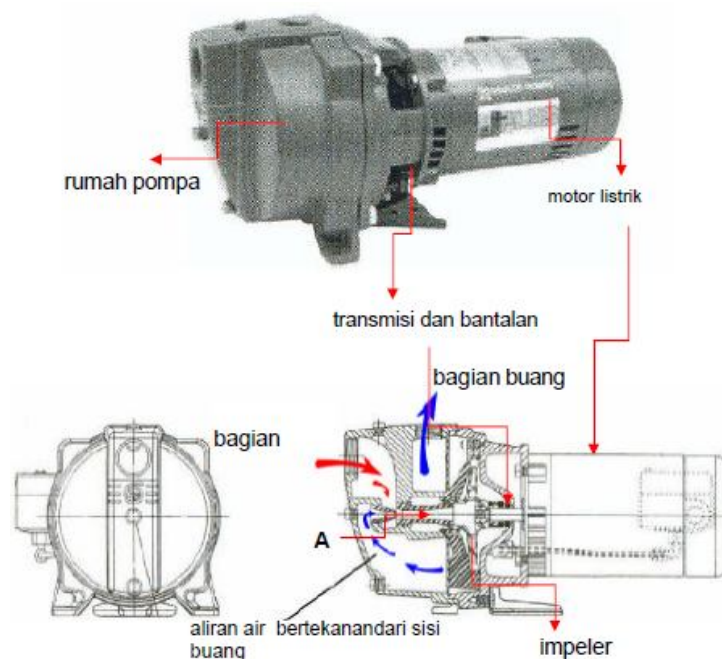
Pompa roda gigi, lobe, ulir, atau pompa circumferential piston

Pompa jenis perpindahan positif banyak digunakan untuk melayani sistem instalasi yang membutuhkan head yang tinggi dengan kapasitas rendah. Dengan efisiensi yang lebih tinggi, pompa perpindahan positif dapat mengatasi head tinggi dari sistem, dibanding dengan menggunakan pompa jenis sentrifugal. Untuk mengatasi head yang sama, pompa sentrifugal memerlukan konstruksi yang lebih kuat dan memerlukan daya yang lebih besar. Dengan alasan tersebut, untuk head sistem yang tinggi lebih menguntungkan digunakan pompa

perpindahan positif apabila kapasitas aliran tidak menjadi tujuan utama dari pemompaan.

Dengan perkembangannya, penggunaan pompa meluas tidak hanya untuk fluida air saja. Berbagai proses industri banyak membutuhkan pompa-pompa khusus yang melayani dengan karakteristik yang sangat beragam. Sebagai contoh, pada industri kertas zat cair yang akan dipindahkan adalah bubur kayu, dimana bubur kayu ini karakteristik yang sangat berbeda dengan air. Dengan alasan tersebut, saat ini banyak dibuat pompa-pompa dengan keperluan khusus untuk melayani zat cair yang khusus pula. Macam-macam pompa khusus (sunnyoto:2008:106-112).

1. Pompa sembur (jet pump)



Gambar 2.42 Pompa Sembur

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunnyoto,2008:106)

Pompa sembur di buat untuk keperluan pemompaan zat cair (air atau minyak bumi) pada sumur yang sangat dalam, dengan diameter sumur yang kecil, dengan kondisi tersebut pompa standar tidak dapat digunakan. Hal tersebut dikarenakan, tekanan vakum pada sisi hisap pompa standar tidak cukup kuat untuk menghisap zat cair pada ke dalaman zat cair melebihi kondisi operasi normal. Untuk itu perlu dirancang pompa dengan kevakuman yang besar pada sisi hisapnya. Pompa sembur dapat di lihat pada gambar 2.42.

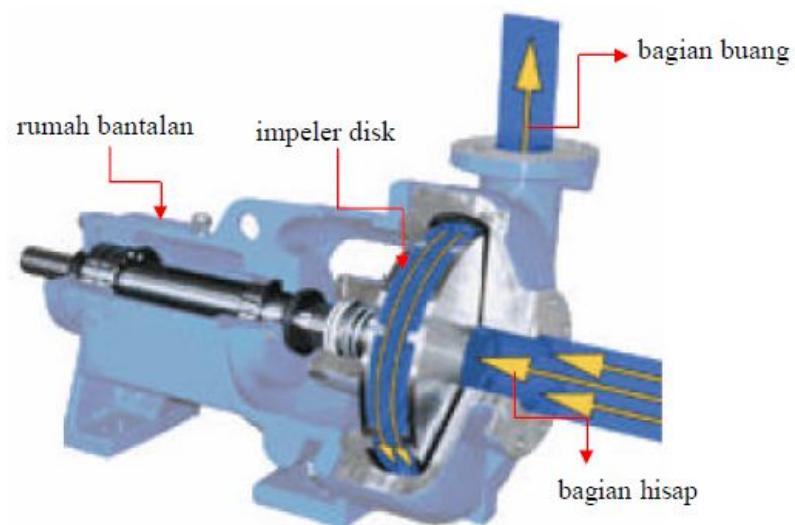
Konstruksi pompa sembur terdiri dari komponen-komponen pompa sentrifugal standar, yaitu impeler, rumah pompa, transmisi dan bantalan, saluran hisap dan buang, dan sebagai tambahan pada bagian hisap pompa dipasang venturi (gambar 2.42). fungsi venturi disini adalah untuk membuat kevakuman pada sisi hisap semakin besar, dengan demikian energi hisap menjadi lebih besar atau dengan kata lain head hisap yang dapat diatasi pompa lebih besar. Venturi mempunyai diameter yang kecil, di mana zat cair bertekanan dari sisi buang yang disirkulasikan, akan dipercepat sehingga terjadi kevakuman yang besar pada bagian pompa berdekatan dengan impeler (bagian A).

Pemasangan venturi untuk kevakuman dapat diletakkan di dalam pompa. Intik pompa sembur dengan pemasangan venturi di luar pompa, prinsip kerjanya sama dengan pemasangan yang di dalam.

2. Pompa viscous

Pompa standar menggunakan impeler untuk mengubah energi mekanik menjadi energi fluida. Impeler terdiri dari sudu-sudu (vane) impeler yang berbentuk tertentu yang dimaksudkan untuk memaksimalkan perubahan energi. Untuk operasi yang standar dengan kondisi zat cair standar, pompa tidak akan bermasalah. Untuk kondisi khusus yaitu pada zat cair yang banyak terdifusi gas-gas atau udara atau untuk penggunaan zat cair yang mengandung partikel-partikel padatan, pompa yang digunakan harus khusus pula.

Dengan kondisi zat cair yang seperti diatas, penggunaan pompa dengan konstruksi standar sangat tidak menguntungkan, komponen-komponen pompa khususnya impeler akan mengalami kerusakan pada sudu-sudu impellernya. Pemeliharaan dan perawatan menjadi mahal dan performa pompa rendah. Untuk mengatasinya, komponen pompa yaitu pada impelernya harus dimodifikasi, sehingga dapat bekerja dengan kondisi tersebut di atas dengan aman dan performa tinggi.



Gambar 2.43 Pompa viscous

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:108)

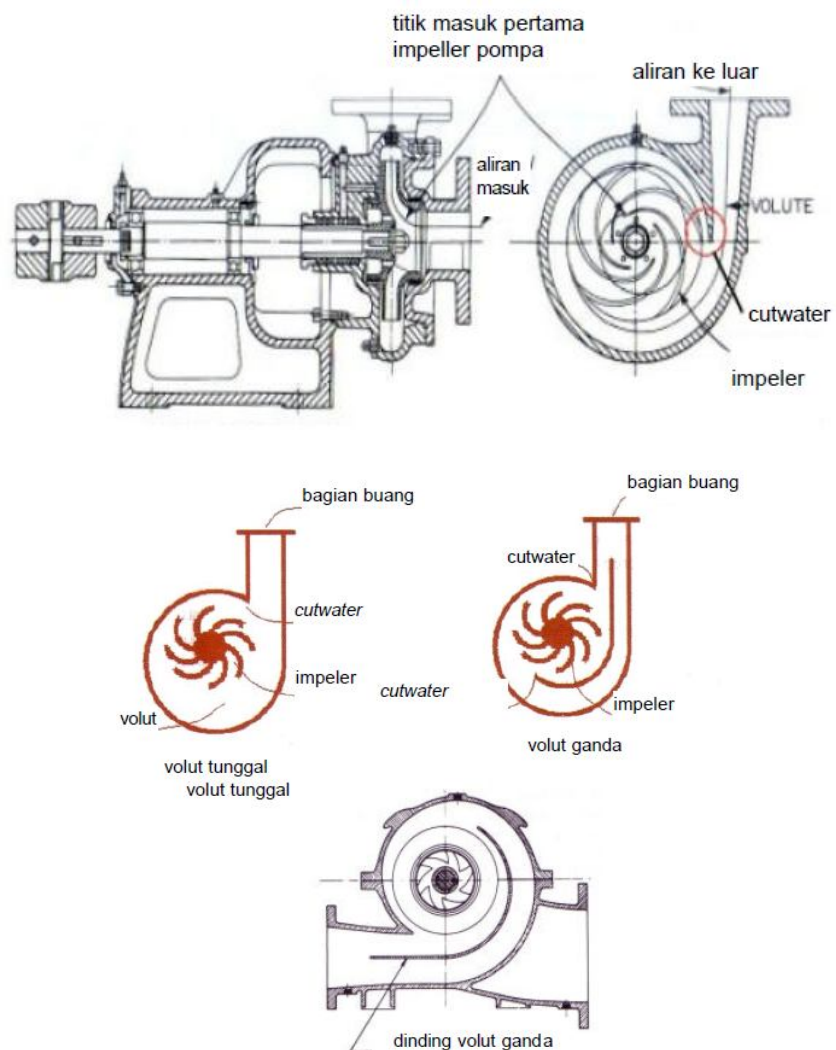
Gambar 2.43 Adalah pompa yang dibuat khusus untuk melayani dan beroperasi dengan zat cair yang mengandung udara atau gas dan partikel-partikel padatan. Impelernya berbentuk disk datar. Proses perpindahannya dengan proses geseran, yaitu fluida cair akan dipindahkan dengan gaya geser impeler.

Energi mekanik akan berpindah dari impeler ke fluida cair, sehingga fluida cair mengalami kenaikan energi kecepatan yang akan diubah menjadi energi tekanan pada bagian buangnya. Keuntungan dengan penggunaan impeler dengan model disc adalah dapat digunakan dengan aman apabila zat cair banyak mengandung gas atau padatan, resiko kerusakan karena tumbukan rendah dengan kondisi seperti itu pompa lebih awet. Jenis impeler pompa ini adalah terbuka sehingga sangat menguntungkan apabila pompa bekerja dengan zat cair yang banyak mengandung partikel padat.

3. Pompa dengan volute ganda

Pada pompa dengan volute tunggal pada proses konversi energi selalu timbul gaya hidrolik (tekan fluida tak beraturan) terutama pada daerah cut water (gambar 2.44). Gaya hidrolik tersebut sering berefek negatif terhadap komponen yang berputar yaitu impeller. Karena ditumbuk berulang-ulang oleh gaya hidrolik, impeller pompa dapat mengalami keausan.

Untuk mengatasi timbulnya gaya hidrolik yaitu pada daerah cut water di dalam pompa, dibuat pompa dengan volute ganda. Dengan volute ganda, cut water menjadi dua buah sehingga gaya hidrolik yang timbul akan saling menyeimbangkan, sehingga tidak menimbulkan efek yang negatif pada impeller. Penggunaan volute ganda akan menyebabkan pompa lebih awet dan hal ini mengurangi biaya perawatan. Akan tetapi biaya pembuatan pompa menjadi mahal dan performa pompa berkurang. Adapun karakteristik operasi volute dapat dilihat pada gambar.



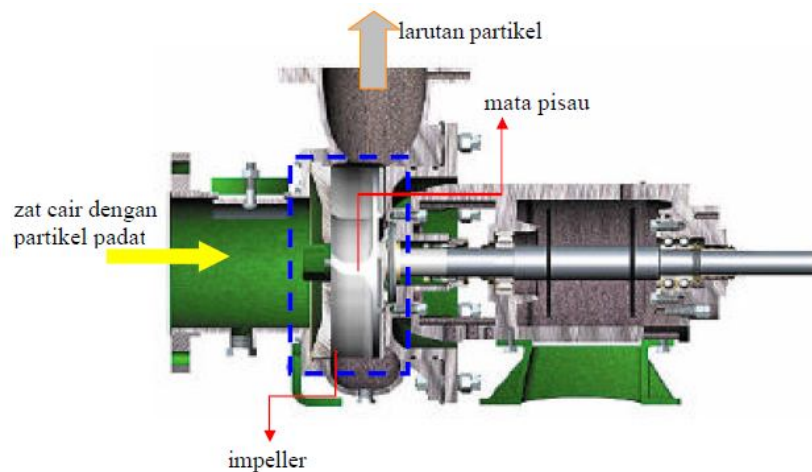
Gambar 2.44 Pompa Dengan Volute Tunggal Dan Ganda

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:109)

4. Pompa *Chopper*

Pada instalasi pengolahan limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga banyak dipasang pompa untuk menangani limbah-limbah cair yang banyak dipasang pompa untuk menangani limbah-limbah cair yang banyak mengandung material/partikel padat (solid). Untuk keperluan tersebut, pompa yang sering dipakai adalah pompa chopper (gambar 2.45). Pompa

ini memiliki impeller yang mempunyai mata pisau sehingga partikel-partikel padat akan dihancurkan dan larut dalam air. Pompa jenis ini juga banyak dipakai pada industri pengolahan kertas dan pulp.



Gambar 2.45 Pompa *Chopper*

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (sunyoto,2008:110)

5. Pompa dengan *reccesed impeller*

Pompa volut (end suction) jenis ini banyak dipakai untuk jenis zat cair yang banyak mengandung gas dan zat cair yang sensitif mudah menimbulkan gesekan.



Gambar 2.46 Pompa *Reccesed Impeller*

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:110)

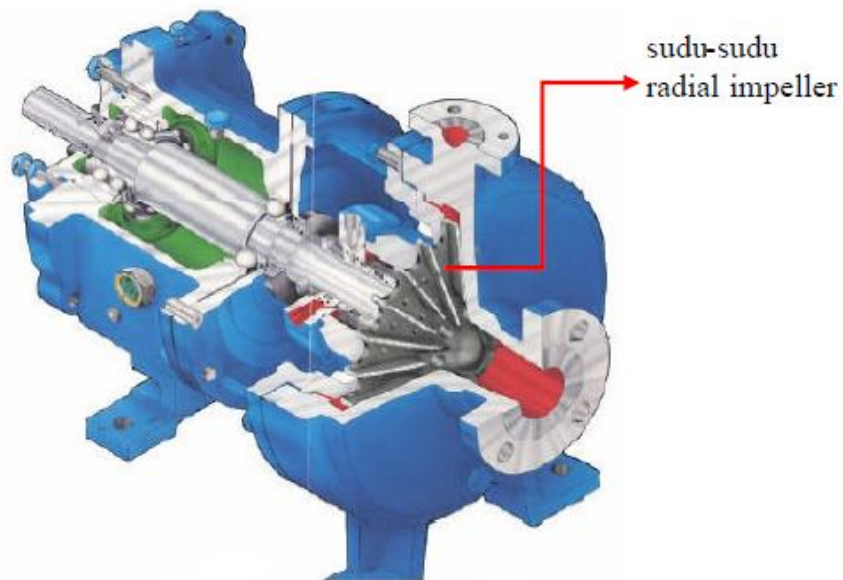
Pompa mempunyai impeler yang khusus atau recessed impeller (gambar 2.46), dengan permukaan rumah pompa dan impeler yang dilapisi dari material tahan gesek, sehingga lebih tahan gesekan dan kavitasi. Pada zat cair yang banyak mengandung serat pada pompa biasa akan mudah sekali mampat atau alirannya akan tersumbat oleh serat-serat, tetapi dengan menggunakan pompa jenis ini masalah tersebut dapat diatasi. Pompa ini juga mampu melayani zat cair yang banyak mengandung gas atau udara sampai 5% dari total volume.

6. Pompa lumpur (*slurry*)

Banyak pompa dipakai pada instalasi pengolahan dengan zat cair dengan kandungan bahan/material padat yang berlebih dengan bentuk fisik lumpur, seperti adukan semen, atau lumpur pasir. Sifat dari lumpur tersebut sangat abrasif sehingga sangat merusak pada komponen-komponen pompa. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada komponen pompa yaitu pada rumah pompa dan impeler pompa dilapisi dengan bahan terbuat dari karet (rubber). Sifat bahan pelapis yang terbuat dari karet sangat elastis. Pada proses pemompaan material padat lumpur akan terendam gaya tumbuknya pada rumah pompa dan impeler, atatu tidak mengenai permukaan logam secara langsung sehingga tidak menimbulkan erosi dan abrasi. Karena jenis fluidanya adalah zat cair (lumpur) dengan kekentalan tinggi, NPSH untuk pompa jenis ini adalah lebih tinggi dibandingkan pompa biasa.

7. Pompa LFH (Low Flow High Head)

Bentuk sudu impeler pompa volut jenis ini adalah radial (gambar 2.47). Pompa ini banyak dioperasikan untuk melayani instalasi dengan zat cair yang bersifat korosi, dengan debit kecil pada head yang tinggi, untuk keperluan tersebut pada impeler dan rumah pompa (volut) dilapsi dengan material yang tahan korosi.



Gambar 2.47 Pompa LFH (*Low Flow High Head*)

Sumber : Teknik Mesin Industri Jilid 1 (Sunyoto,2008:112)

Pompa ini beroperasi pada debit yang rendah karena pada aliran yang lebih tinggi pompa bekerja dengan risiko cepat rusak dan memerlukan perawatan yang lebih mahal. Jadi pompa ini dirancang

husus untuk bekerja pada debit yang kecil dengan performa yang normal.

Untuk menghitung volume pompa, komponen ketinggian berdasarkan panjang langkah yang dihasilkan oleh pompa sesuai dengan periode gelombang. Sehingga untuk menghitung kecepatan air yang masuk pompa menggunakan persamaan:

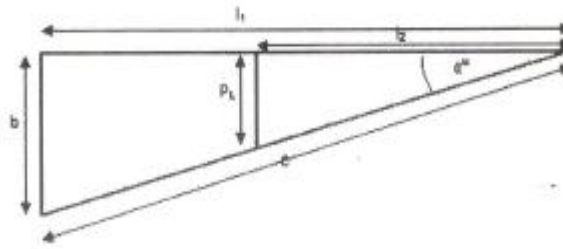
$$v = \frac{\text{PanjangLangkah}}{0,5T} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$Q = \frac{v}{T} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$h = \frac{F}{\rho g A} \dots\dots\dots (2.33)$$

Panjang langkah (P_L) merupakan komponen terpenting dalam menentukan volume pompa, karena tinggi yang digunakan untuk menghitung volume pompa adalah panjang langkah yang dihasilkan oleh panjang lengan beban. Semakin panjang lengan beban maka panjang langkah yang dihasilkan akan semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin pendek panjang lengan beban maka panjang langkah yang dihasilkan akan semakin kecil.

Untuk menghitung panjang langkah digunakan teorema pitagoras dan rumus trigonometri.



Gambar 2.48 Panjang Langkah

Teorem pitagoras yang digunakan pada persamaaan 2.50, sehingga:

$$c^2 = l_1^2 + b^2 \dots\dots\dots (2.34)$$

Rumus trigonometri yang digunakan pada persamaan 2.45, sehingga:

$$\cos \alpha = \frac{l_1}{c} \dots\dots\dots (2.35)$$

Rumus perbandingan yang digunakan pada persamaan ,sehingga:

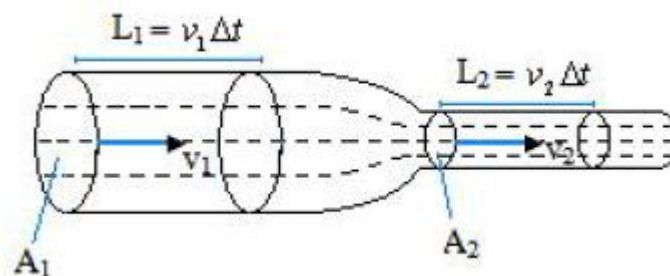
$$\frac{b}{l_1} = \frac{P_L}{l_2} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$bl_1 = P_L l_2 \dots\dots\dots (2.37)$$

Tabel 2.6 Perbandingan Panjang Langkah dengan Lengan Beban

l_1	l_2	B	P_L	l_1	l_2	B	P_L
1	3	B	$1/3 b$	4	1	$4b$	$4b$
2	2	B	B	4	2	$2b$	B
3	1	$3b$	$3b$	4	3	$4b$	$4/3 b$

2.3.8 Persamaan kontinuitas



Gambar 2.49 Persamaan Kontinuitas

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:339)

Mari kita lihat aliran laminar suatu fluida yang melalui tabung tertutup atau pipa seperti ditunjukkan pada gambar . Pertama tentukan bagaimana laju fluida berubah ketika ukuran tabung berubah. Laju aliran massa didefinisikan sebagai massa Δm dari fluida yang melewati titik tertentu per satuan waktu Δt (laju aliran massa = $\Delta m/\Delta t$). Pada gambar 2.39, volume fluida yang melewati titik 1 (yaitu, melalui luas A_1) dalam waktu Δt adalah $A_1\Delta l_1$, di mana Δl_1 adalah jarak yang dilalui fluida dalam waktu Δt . Karena kecepatan fluida yang melewati titik 1 adalah $v_1 = \Delta l_1/\Delta t$, laju aliran massa $\Delta m/\Delta t$ melalui luas A_1 adalah (giancoli:1999:339-340).

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\rho_1 \Delta V_1}{\Delta t} = \frac{\rho_1 A_1 \Delta l_1}{\Delta t} = \rho_1 A_1 v_1 \dots\dots\dots (2.38)$$

Di mana $\Delta V_1 = A_1\Delta l_1$ adalah volume dengan massa Δm_1 , dan ρ_1 adalah massa jenis fluida. Dengan cara yang sama, pada titik 2 (melalui luas A_2), laju alir adalah $\rho_2 A_2 v_2$. Karena tidak ada aliran fluida yang masuk dan keluar dari sisi-sisi, laju alir melalui A_1 dan A_2 harus sama.

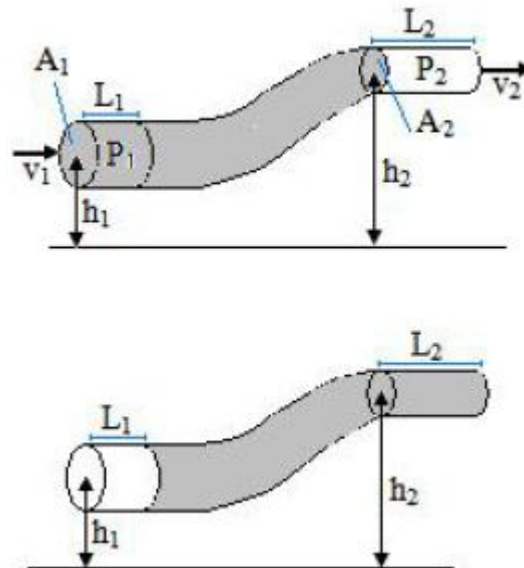
Dengan demikian, karena $\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t}$ maka $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$.

Persamaan ini disebut persamaan kontinuitas. Jika fluida tersebut tidak bisa ditekan (ρ tidak berubah terhadap tekanan), yang merupakan pendekatan yang baik untuk zat cair dalam sebagian besar kondisi (dan kadang-kadang juga untuk gas), maka $\rho_1 = \rho_2$, dan persamaan kontinuitas menjadi ((giancoli:1999:340):

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (2.39)$$

2.3.9 Hukum Bernouli

Menurut Giancoli (1999:341-342), prinsip bernouli menyatakan bahwa di mana kecepatan fluida tinggi, tekanan rendah, dan di mana kecepatan fluida rendah, tekanan tinggi.



Gambar 2.50 Hukum Bernouli

Sumber : Fisika (Giancoli, 1999:342)

Pada gambar 2.50, yang menunjukkan suatu pipa berisi fluida yang mengalir dengan ketinggian dan luas penampang yang berbeda. Untuk menghitung banyaknya fluida dan kerja untuk memindahkan dari posisi pada gambar 2. Ke posisi pada gambar 2. Fluida pada titik 1 mengalir sejauh Δl_1 , dan tekanan P_1 , emaksa fluida pada titik 2 untuk berpindah sejauh Δl_2 .

$$w_1 = F_1 \Delta l_1 = P_1 A_1 \Delta l_1 \dots\dots\dots (2.40)$$

Karena arah F_2 berlawanan dengan arah F_1 , maka besar usaha untuk F_2 , yaitu:

$$w_2 = -P_2 A_2 \Delta l_2 \dots\dots\dots (2.41)$$

Gaya gravitasi juga melakukan usaha pada fluida. Pada gambar diatas sejumlah massa fluida dipindahkan dari penampang 1 sejauh l_1 ke penampang 2 sejauh l_2 , di mana volume fluida pada penampang 1 sama dengan volume fluida pada penampang 2 ($A_1 l_1 = A_2 l_2$). Usaha yang dilakukan oleh gravitasi adalah:

$$w_3 = -mg(y_2 - y_1) \dots\dots\dots (2.42)$$

Tanda negatif disebabkan karena fluida mengalir ke atas, berlawanan dengan arah gaya gravitasi. Dengan demikian, usaha total yang dilakukan pada fluida adalah:

$$W = w_1 + w_2 + w_3 \dots\dots\dots (2.43)$$

$$W = P_1 A_1 y_1 - P_2 A_2 y_2 - mgy_2 + mgy_1 \dots\dots\dots (2.44)$$

Usaha total yang dilakukan pada suatu sistem sama dengan perubahan energi kinetiknya, maka usaha (W) sama dengan perubahan energi kinetik ($EK_2 - EK_1$). Sehingga menghasilkan persamaan:

$$EK_1 - EK_2 = P_1 A_1 y_1 - P_2 A_2 y_2 - mgy_2 + mgy_1 \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = P_1 A_1 y_1 - P_2 A_2 y_2 - mgy_2 + mgy_1 \dots\dots\dots (2.46)$$

Massa fluida yang mengalir sejauh L_1 pada penampang A_1 sama dengan massa fluida yang mengalir sejauh l_2 (penampang A_2) yang mempunyai volume sebesar $A_1 l_1$ dan $A_2 l_2$ di mana $A_1 l_1 = A_2 l_2$. Sehingga persamaan massa fluida:

$$m = \rho A_1 \Delta l_1 = \rho A_2 \Delta l_2 \dots\dots\dots (2.47)$$

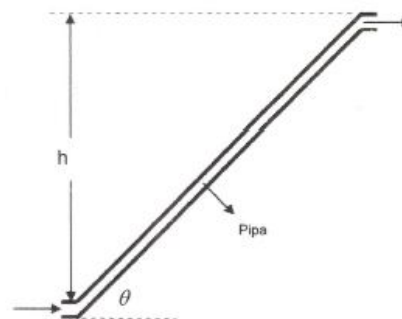
Dengan mensubstitusikan persamaan 2.47 ke persamaan 2.48 lalu dibagi A_1 dengan maka:

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_1 - P_2 - \rho g y_2 + \rho g y_1 \dots\dots\dots (2.49)$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \dots\dots\dots (2.50)$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.51)$$

2.3.10 Pipa Pengisian



Gambar 2.51 Pipa Pengisian

Gambar 2.51 merupakan gambar unit pipa pengisian yang berfungsi mengalirkan air laut dari unit pompa menuju unit reservoir, perencanaan unit pipa pengisian harus memperhitungkan besarnya tekanan balik yang diberikan oleh air laut sepanjang pipa dengan tekanan yang dihasilkan oleh pompa, agar air laut bisa terangkat ke atas secara terus menerus. Perencanaan harus memastikan bahwa tekanan pompa lebih besar dari pada tekanan balik air laut sepanjang unit pipa pengisian. Unit pipa pengisian dirancang dengan kemiringan 45° , dengan tinggi elevansi h meter dan diameter pipa 2 inci dan mengabaikan terhadap jenis bahan pipa yang akan digunakan.

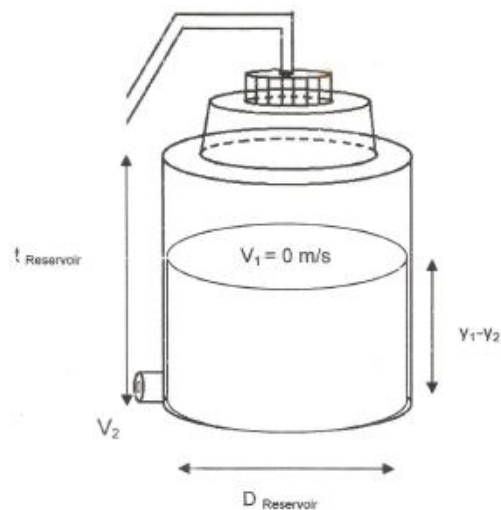
Berdasarkan teori aliran fluida bahwa tekanan benda cair pada pipa tegak (90°) akan sama dengan pipa miring selama ketinggian elevansinya sama.

Banyaknya air yang keluar dari pompa dengan n adalah waktu ke-0 untuk $n = 0$, waktu ke-1 untuk $n = 1$, waktu ke-2 untuk $n = 2$, dan seterusnya.

$$V_n = A_1 P_{L_n} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\Sigma V_n = V_{n-1} - V_n \dots\dots\dots (2.53)$$

2.3.11 Reservoir



Gambar 2.52 Reservoir

Gambar 2.52 merupakan gambar dari reservoir, yang merupakan wadah penampung air dari pompa yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin. Air yang tertampung di reservoir merupakan air yang berasal dari pompa. Banyaknya air dalam reservoir dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V_{jumlah\ ke-n} = V_0 + \dots + V_n \dots\dots\dots (2.54)$$

Di mana $V_{jumlah\ ke-n}$ merupakan jumlah air yang ditamoung reservoir pada waktu ke-n dan n merupakan waktu ke-0 untuk $n = 0$, waktu ke-1 untuk $n = 1$, waktu ke-2 untuk $n = 2$ dan seterusnya.

2.3.12 Turbin

Turbin merupakan salah satu komponen dalam pembangkit energi listrik yang digunakan untuk memutar generator (sulasno:2001:20). Banyaknya air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin, yaitu:

$$V_{kebutuhan} = \sqrt{2gh}A_2T = vA_2T = QT \dots\dots\dots (2.55)$$

$$A_2 = \frac{\pi D_1^2}{4} \dots\dots\dots (2.56)$$

Di mana $V_{kebutuhan}$ merupakan volume air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin dalam satu periode, g adalah gravitasi bumi, h adalah ketinggian turbin ke generator, A_2 merupakan luas permukaan reservoir atau penampung air $= \frac{\pi D_1^2}{4}$, T merupakan periode gelombang, v merupakan kecepatan jatuh bebas air, dan Q merupakan besaran debit air.

Energi potensial yang berasal dari ketinggian diubah ke dalam bentuk energi mekanik oleh turbin dan digunakan untuk menggerakkan generator. Pemilihan jenis turbin pada dasarnya ditentukan oleh hubungan yang dinyatakan dalam rumus (silasno:2001:20):

$$\eta_s = \frac{1,165NP^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \dots\dots\dots (2.55)$$

Dimana:

η_s = kecepatan spesifik turbin(rpm)

N = putaran turbin (rpm)

P = daya turbin (kW)

H = tinggi jatuh efektif (m)

Berdasarkan persamaan , kecepatan spesifik dapat digunakan untuk menentukan tipe turbin, yaitu:

1. Turbin Pelton (Impuls) = 12-70 ppm
2. Turbin Francis = 80-420 ppm
3. Turbin Kaplan dan Propeller = 310-1000 ppm

Berdasarkan tinggi jatuhnya, turbin dapat diklasifikasikan atas:

1. 0-30 m = Turbin dengan ketinggian jatuh rendah.
2. 30-300 m = Turbin dengan tinggi jatuh air sedang.
3. 300-keatas = Turbin dengan tinggi jatuh air tinggi.

Menurut kecepatan spesifikasi, ns turbin dapat dibedakan menjadi:

1. 2-12 ppm = Turbin dengan kecepatan spesifik rendah.
2. 12-90 ppm = Turbin dengan kecepatan spesifik sedang.
3. 90-250 ppm = Turbin dengan kecepatan spesifik tinggi.

Pembagian turbin dapat digolongkan menjadi dua, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

1. Turbin Impuls

Energi potensi air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan.

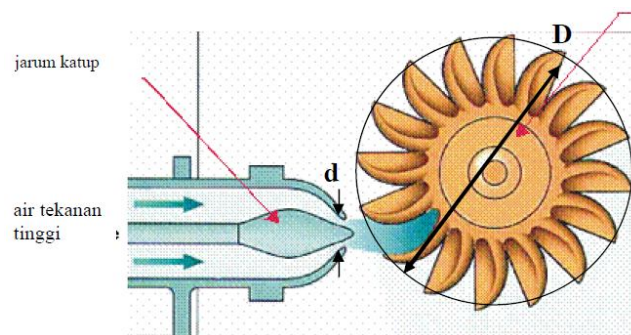
a. Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin implus. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi. Gambar turbin pelton dapat dilihat pada gambar 2.53.



Gambar 2.53 Turbin Pelton

Sumber: Hydrolic Turbines



Gambar 2.54 Aliran Turbin Pelton

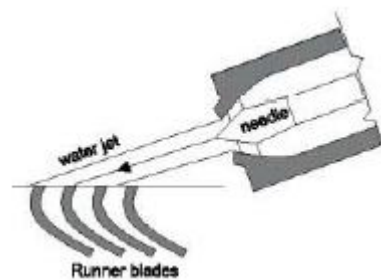
Sumber: Hydrolic Turbines

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian rupa sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke dua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan air dibagi lewat beberapa nozel (gambar 2.54). Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil. Turbin Pelton digunakan untuk pembangkit

skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro head 20 meter sudah mencukupi.

b. Turbin Turgo

Turbin Turgo (gambar 2.55) dapat beroperasi pada head 30 sampai dengan 300 m. seperti turbin pelton, turbin turgo juga termasuk jenis turbin impulse, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nozel membentur sudu pada sudut 20. Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin Pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



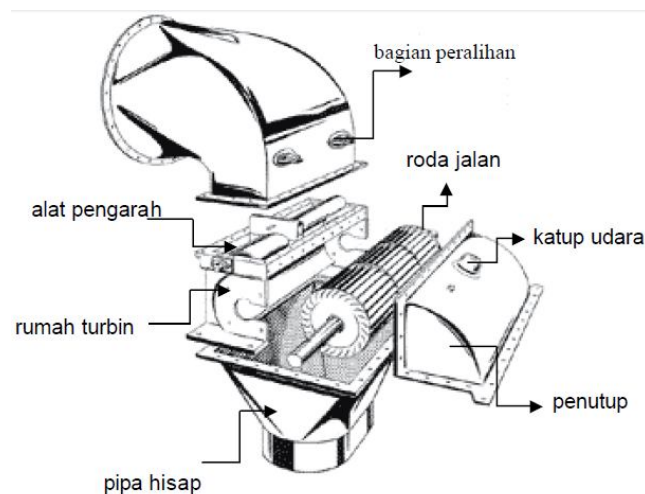
Gambar 2.55 Turbin Turgo

Sumber: Hydraulic Turbines

c. Turbin crossflow

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 m³/s hingga 10 m³/s dan head antara 1 sampai dengan 200 m.

Turbin *Crossflow* (gambar 2.56) menggunakan nozle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piring paralel.



Gambar 2.56 Turbin *Crossflow*

Air yang masuk sudu diarahkan oleh alat pengarah yang sekaligus berfungsi sebagai nosel seperti pada turbin pelton. Prinsip perubahan energi adalah sama dengan turbin impuls pelton yaitu energi kinetik dari pengarah dikemakam pada sudu-sudu pada tekanan yang sama.

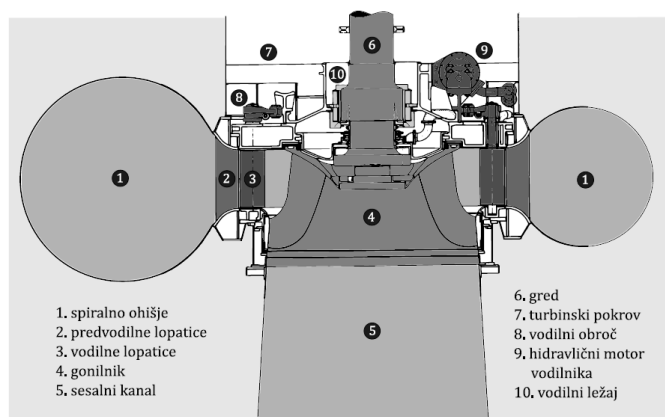
2. Turbin Reaksi

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadi penurunan tekanan air selama melalui sudu.

Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

a. Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar (gambar 2.57). Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada Turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.

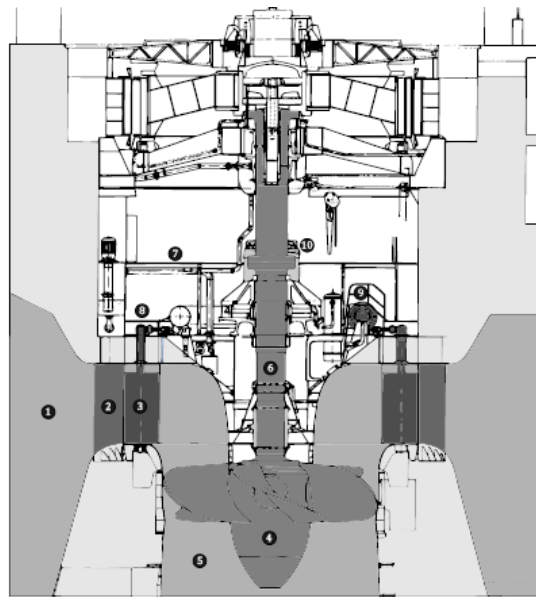


Gambar 2.57 Turbin Francis

Sumber : Introduction to turbine machinery.

b. Turbin Kaplan dan Propeller

Turbin Kaplan dan Propeller merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu (gambar 2.58).



Gambar 2.58 Turbin Kaplan Dan Propeller

Sumber : Introduction to turbine machinery.

2.4 Rancangan Simulasi

Rancangan Simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Simulink. Menurut Hans-Petter (2016:1), simulink adalah ruang lingkup untuk simulasi dan desain berbasis model untuk dinamika dan sistem tertanam. Simulink menyediakan ruang lingkup grafis interaktif dan seperangkat yang dapat disesuaikan dari *blok library* yang digunakan untuk merancang, mensimulasikan, menerapkan, dan menguji berbagai sistem dengan variasi waktu, termasuk komunikasi, kontrol, pemrosesan sinyal, pengolahan video,

dan pengolahan gambar.

Menurut Hans-Petter (2016:1) simulink menawarkan:

1. Cara cepat mengembangkan model yang diinginkan berbeda dengan bahasa pemrograman berbasis teks seperti misalnya, bahasa pemrograman C
2. Simulink memiliki pemecah terintegrasi. Dalam bahasa pemrograman berbasis teks seperti, bahasa pemrograman C

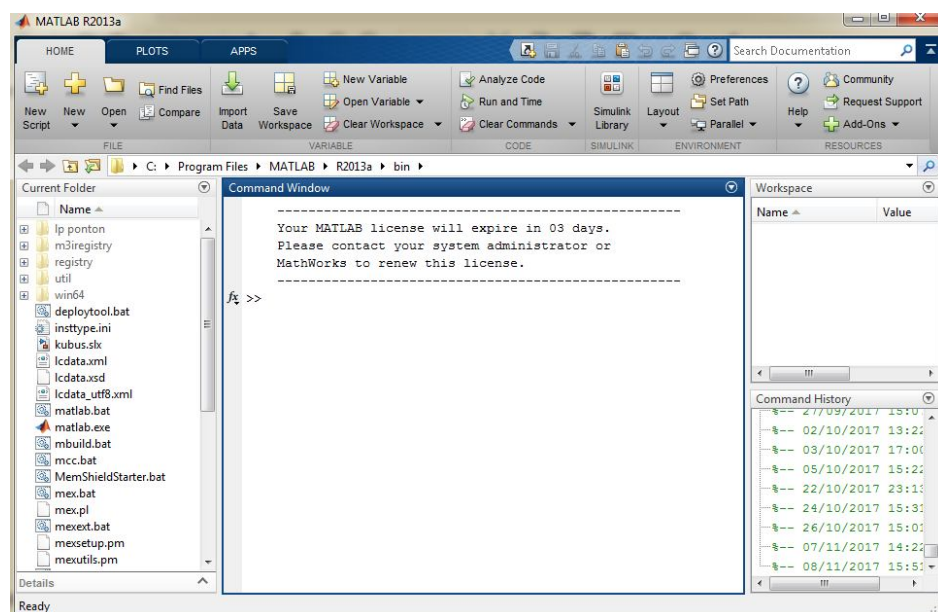
Langkah – langkah membuat simulasi:

1. Membuka program MATLAB



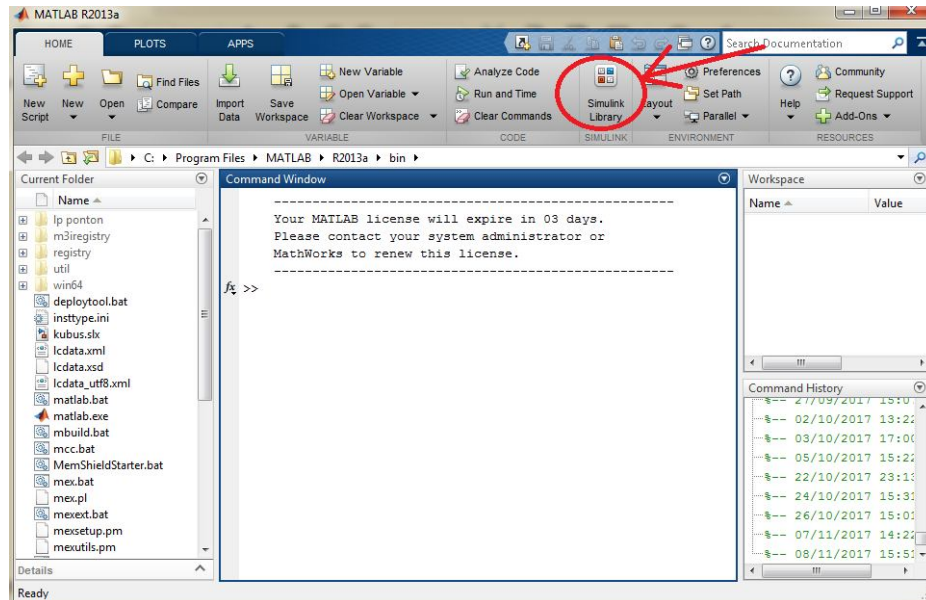
Gambar 2.59 Ikon Matlab

Untuk membuka program MATLAB, klik double kanan pada ikon Matlab yang dapat dilihat pada gambar 2.59. Selanjutnya, akan muncul tampilan awal Matlab pada layar seperti gambar 2.60.



Gamabar 2.60 Tampilan Awal Matlab

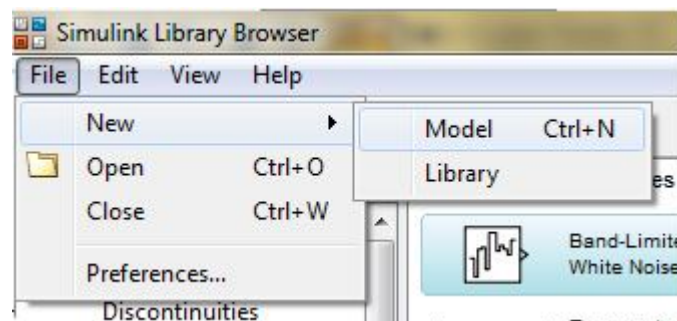
2. Membuka Simulink Library



Gambar 2.61 Letak Ikon Simulasi Library

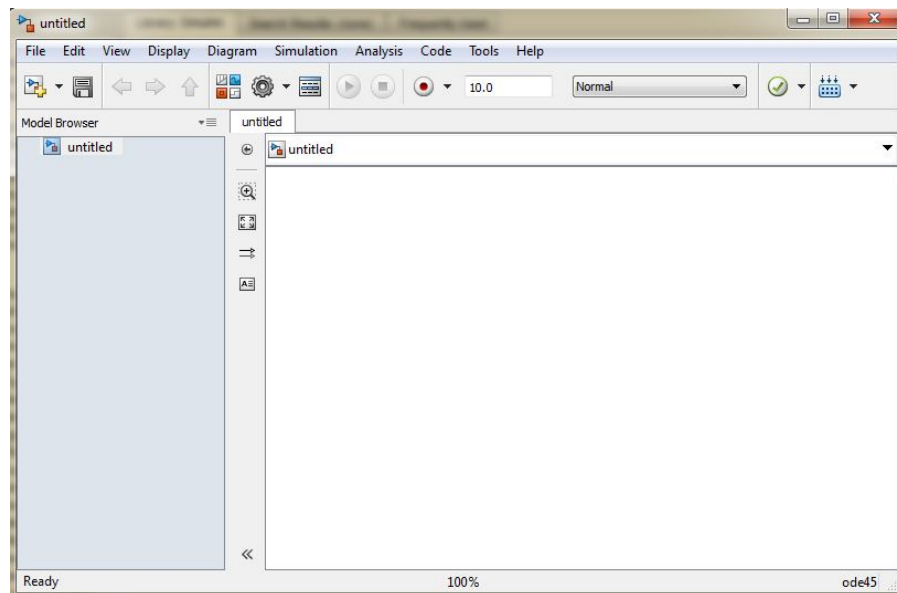
Cara untuk membuka Simulasi Library adalah dengan klik kanan sekali pada ikon yang telah ditunjukkan pada gambar 2.61. Selanjutnya, akan muncul Simulink Library Browser pada layar.

3. Membuka model pada Simulink Library Browser



Gambar 2.62 Simulink Library Browser

Cara untuk membuka model pada Simulink Library Browser (dapat dilihat pada gambar 2.62) adalah dengan klik kanan sekali pada ikon File lalu geser pada ikon New dan klik kanan sekali pada ikon Model. Dapat juga dibuka dengan cara menekan tombol Ctrl dan tombol N pada keyboard secara bersamaan. Selanjutnya akan muncul tampilan pada gambar 2.63.



Gambar 2.63 Model

4. Menggunakan blok pada permukaan model

Cara untuk menggunakan blok pada permukaan model adalah dengan menarik blok yang ingin digunakan dalam simulasi. Lalu klik kanan pada satu blok yang akan digunakan lalu tahan dan lepas pada permukaan model.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Maret tahun 2017 sampai bulan Januari tahun 2018.

3.2 Metode Pengembangan Produk

3.2.1 Tujuan Pengembangan

Tujuan pengembangan adalah untuk mencari model ponton yang optimal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL).

3.2.2 Metode Pengembangan

Metode pengembangan adalah dengan cara merubah-ubah bentuk ponton namun volume tetap, dan merubah ukuran volume ponton namun bentuk ponton tetap.

3.2.3 Sasaran Produk

Sasaran produk adalah mendapatkan model ponton yang optimal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL).

3.2.4 Instrumen

Waktu	0,0	4,0
Luas permukaan yang terkena air										
Gaya ponton										

Gaya pompa										
Ketinggian air										
Volume air keluar pompa										
Jumlah air reservoir										
Volume air yang dibutuhkan										

3.3 Produk Pengembangan

3.3.1 Tahapan Penelitian dan Pengumpulan Informasi

Tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu:

1. Pra penelitian

Tahapan ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi seputar Pembangkit Listrik Tenaga Air-Gelombang Laut (PLTA-GL).

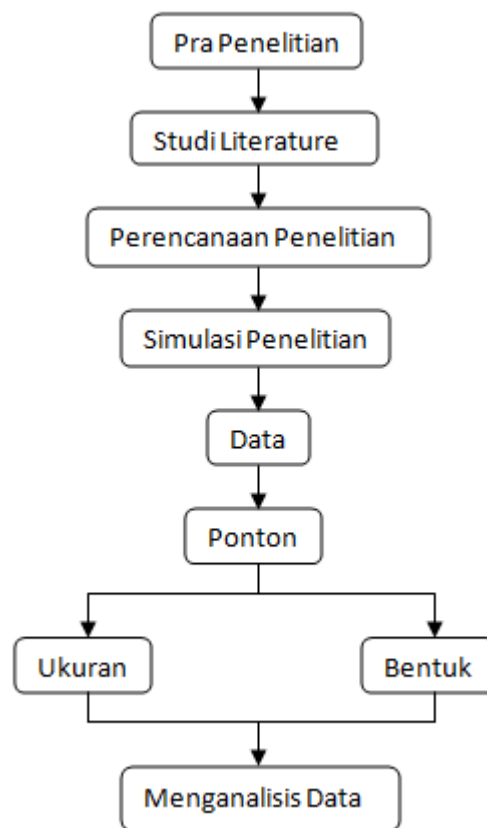
2. Study Literature

Tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dapat mendukung penelitian. Literatur yang mendukung penelitian ini, yaitu:

- Analisis Performa Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL).
- Analisis perancangan
- ulang Pembangkit Listrik Tenaga Air-Gelombang Laut (PLTA-GL) guna Mengoptimalkan Potensi Gelombang Laut Sebagai Salah Satu Sumber Energi Alternatif.

- Scaled Modeling And Simulation Of Ocean Wave Linear Generator Buoy System

3. Perencanaan penelitian
4. Simulasi penelitian
5. Data
6. Menganalisis data



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.3.2 Tahapan Perencanaan

3.3.2.1 Menentukan konstanta

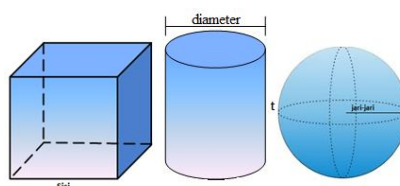
Pada tahapan ini yang dilakukan ialah menentukan nilai besaran konstanta yang nantinya akan digunakan pada perhitungan. Konstanta-konstanta yang digunakan pada penelitian ini adalah massa jenis air laut (ρ), phi (π), dan gravitasi bumi (g).

3.3.2.2 Menentukan Asumsi

Pada tahapan ini yang dilakukan ialah menentukan nilai besaran asumsi yang nantinya akan digunakan pada perhitungan. Asumsi-asumsi yang nantinya digunakan adalah panjang tuas l_1 , panjang tuas l_2 , Amplitudo (A), panjang langkah, periode (T), diameter pompa (A_1), diameter keluaran reservoir (A_2).

3.3.2.3 Menentukan Variasi Ponton

Tahapan ini dilakukan untuk menentukan variasi bentuk ponton yang akan digunakan dalam penelitian ini. Variasi bentuk ponton yang digunakan, yaitu: kubus, tabung dan bola. Bentuk-bentuk ponton tersebut dipilih karena sederhana sehingga mudah dalam perhitungan.



Gambar 3.2 Variasi Bentuk Ponton

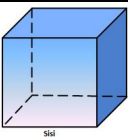
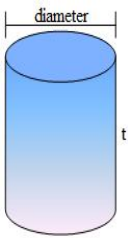
3.3.2.4 Menentukan Ukuran Ponton

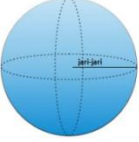
Untuk menentukan besaran ponton terlebih dahulu menghitung besaran minimum ponton. Besaran minimum ponton dijadikan acuan bahwa besaran ponton tersebut dapat digunakan pada sistem yang terlebih dahulu ditentukan.

Tabel 3.1 merupakan tabel ukuran pada setiap variasi ponton yang besarannya volumenya dibagi menjadi 3 bagian yaitu volume 1 sebesar $0,1 \text{ m}^3$, volume 2 sebesar $0,125$, dan volume 3 sebesar $0,15 \text{ m}^3$ dengan 3 variasi ukuran yaitu kubus, tabung, dan bola.

Sehingga pada ponton kubus terdapat variasi ukuran yaitu; $0,1 \text{ m}^3$, $0,125 \text{ m}^3$, dan $0,15 \text{ m}^3$; pada ponton tabung terdapat variasi ukuran yaitu; $0,1 \text{ m}^3$, $0,125 \text{ m}^3$, dan $0,15 \text{ m}^3$; dan pada ponton bola terdapat variasi ukuran yaitu; $0,1 \text{ m}^3$, $0,125 \text{ m}^3$, dan $0,15 \text{ m}^3$. Dan dapat terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Bentuk dan Ukuran Ponton

Bentuk ponton	Volume 1 ($0,1 \text{ m}^3$)	Volume 2 ($0,125 \text{ m}^3$)	Volume 3 ($0,15 \text{ m}^3$)
	Sisi = $0,464 \text{ m}$	Sisi = $0,5 \text{ m}$	Sisi = $0,531 \text{ m}$
	Diameter = $0,400 \text{ m}$ Tinggi =	Diameter = $0,430 \text{ m}$ Tinggi = 430	Diameter = $0,457 \text{ m}$ Tinggi =

	0,400 m	m	0,457 m
	Diameter = 0,576 m	Diameter = 0,620 m	Diameter = 0,660 m

3.3.2.5 Perencanaan Perhitungan

Perencanaan perhitungan yang digunakan meliputi:

a. Menghitung Luas permukaan ponton

Untuk menghitung luas permukaan pada masing-masing bentuk ponton dengan menggunakan rumus:

- Luas permukaan kubus:

Untuk menghitung luas permukaan kubus dengan menggunakan persamaan 2.1 halaman 16, yaitu:

$$L_p = 6 \times s^2$$

- Luas permukaan tabung:

Untuk menghitung luas permukaan tabung dengan menggunakan persamaan 2.3 halaman 17, yaitu:

$$L_p = 2\pi r(r+t)$$

- Luas permukaan bola:

Untuk menghitung luas permukaan bola dengan menggunakan persamaan 2.3 halaman 17, yaitu:

$$L_p = 4\pi r^2$$

b. Menghitung gaya ponton

Untuk menghitung gaya ponton dengan menggunakan persamaan 2.13 halaman 40, yaitu:

$$F = \frac{1}{4} \rho g a^2$$

c. Menghitung gaya dorong tuas

Untuk menghitung gaya dorong pada tuas dengan menggunakan persamaan 2.24 halaman 50, sehingga:

$$F_2 = \frac{F_1 l_1}{l_2}$$

d. Menghitung tinggi air keluaran pompa

Untuk menghitung gaya dorong pada tuas dengan menggunakan persamaan 2.33 halaman 73, sehingga:

$$h = \frac{F_2}{\rho g A_1}$$

e. Menghitung banyaknya air keluaran pompa

Untuk menghitung banyaknya air keluaran pompa dengan menggunakan persamaan 2.53 halaman 80, sehingga:

$$\sum V_n = V_{n-1} - V_n$$

Di mana untuk menghitung banyaknya air pada pompa dengan menggunakan persamaan 2.52 halaman 80, sehingga:

$$V_n = A_1 P_{L_n}$$

f. Menghitung Jumlah air masuk ke reservoir

Untuk menghitung jumlah air masuk ke reservoir dengan menggunakan persamaan 2.54 halaman 80, sehingga:

$$V_{jumlah\ ke-n} = V_0 + \dots + V_n$$

g. Menghitung kebutuhan air dalam satu periode gelombang

Untuk menghitung jumlah air masuk ke reservoir dengan menggunakan persamaan 2.55 halaman 80, sehingga:

$$V_{kebutuhan} = \sqrt{2gh}A_2T = vA_2T = QT$$

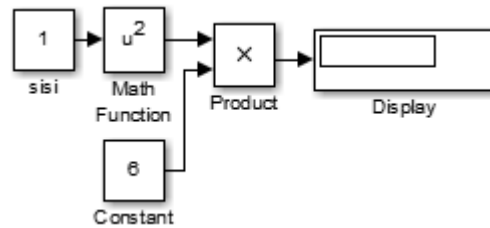
Di mana untuk menghitung jumlah air masuk ke reservoir dengan menggunakan persamaan 2.56 halaman 80, sehingga:

$$A_2 = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

3.3.3 Tahapan Desain Produk

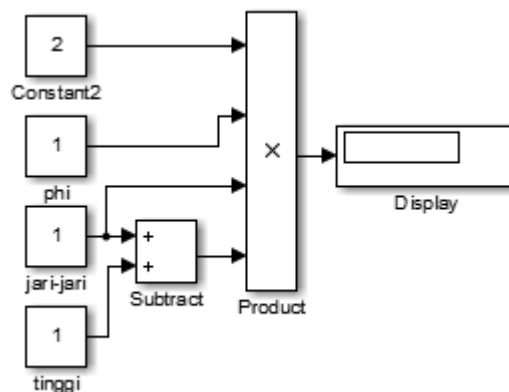
Pada tahapan ini, rumus-rumus yang telah dirumuskan pada perencanaan perhitungan diubah ke dalam bentuk simulasi. Dalam hal ini, simulasi yang digunakan adalah simulink. Berikut ini merupakan simulasi dari simulink:

a. Simulasi luas permukaan ponton kubus



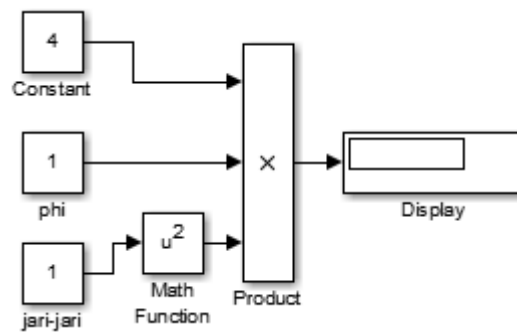
Gambar 3.3 Simulasi Luas Permukaan Kubus

Gambar 3.3 merupakan gambar simulasi luas permukaan ponton pada variasi bentuk kubus. Untuk mendapatkan besaran luas permukaan kubus adalah dengan memasukkan besaran sisi kubus ke dalam fungsi kuadrat dan dimasukkan kedalam fungsi kali bersama dengan konstan yang bernilai 6 dan hasilnya akan muncul pada display.



Gambar 3.4 Simulasi Luas Permukaan Tabung

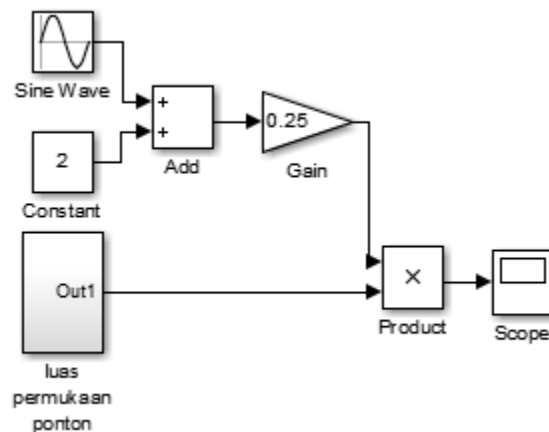
Gambar 3.4 merupakan gambar simulasi luas permukaan ponton pada variasi bentuk tabung. Untuk mendapatkan besaran luas permukaan tabung adalah dengan memasukkan besaran konstanta bernilai 2, nilai phi, nilai jari-jari dan hasil penjumlahan antara jari-jari dan tinggi ke dalam fungsi kali. Hasilnya akan terlihat pada display.



Gambar 3.5 Simulasi Luas Permukaan Bola

Gambar 3.5 merupakan gambar simulasi luas permukaan ponton pada variasi bentuk bola. Untuk mendapatkan besaran luas permukaan bola adalah dengan memasukkan besaran jari-jari bola ke dalam fungsi kuadrat dan dimasukkan kedalam fungsi kali bersama dengan konstan yang bernilai 4 dan besaran phi. Hasilnya dapat terlihat pada display.

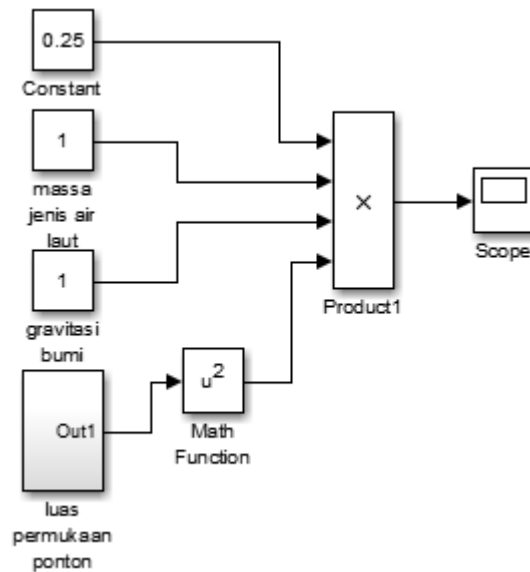
b. Simulasi gaya ponton



Gambar 3.6 Simulasi Luas Permukaan Yang Terendam

Gambar 3.6 merupakan gambar simulasi bagian luas permukaan ponton yang terkena energi laut. Besarnya luas permukaan ponton yang terkena laut adalah dengan memasukkan besaran nilai amplitudo dan frekuensi gelombang laut pada sine

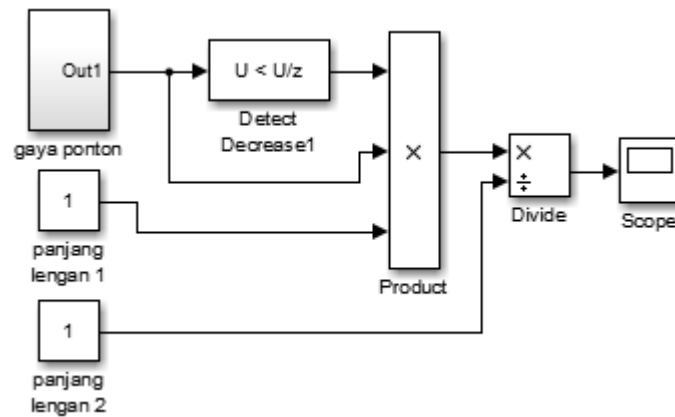
wave dan konstanta yang bernilai 2 ke dalam fungsi tambah lalu ke fungsi kali sebesar 0,25 dan dikalikan dengan luas permukaan ponton. Hasilnya akan terlihat pada scope dalam bentuk grafik.



Gambar 3.7 Simulasi Gaya Ponton

Gambar 3.7 merupakan gambar simulasi gaya pada ponton. Untuk mendapatkan gaya pada ponton terlebih dahulu mengalikan konstanta bernilai 0,25, massa jenis air laut, gravitasi bumi, dan luas permukaan ponton kuadrat. Hasilnya akan terlihat pada scope.

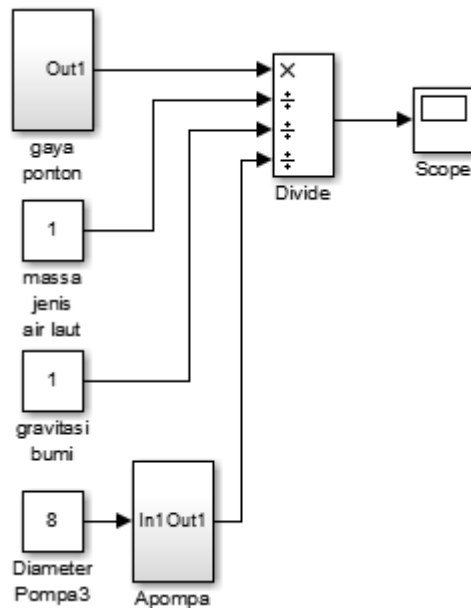
c. Simulasi gaya pompa



Gambar 3.8 Simulasi Gaya Pompa

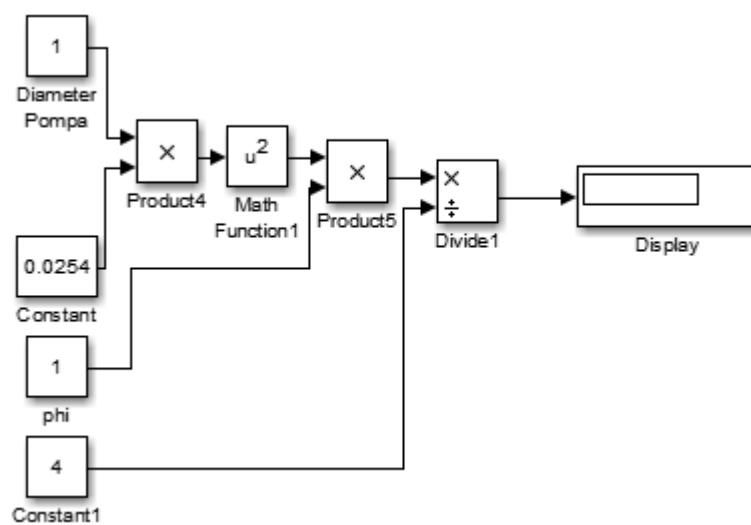
Gambar 3.8 merupakan gambar dari simulasi luas penampang. Untuk mendapatkan besaran gaya pada pompa terlebih dahulu memasukkan besaran gaya ponton ke dalam fungsi detect decrease lalu dimasukkan ke dalam fungsi kali bersamaan dengan gaya ponton dan panjang tuas 1 lalu dimasukkan ke dalam fungsi bagi, lalu dimasukkan ke dalam fungsi bagi bersama dengan panjang tuas 2 di mana panjang tuas 2 sebagai pembagi. Hasilnya akan terlihat pada scope dalam bentuk grafik.

d. Simulasi ketinggian air keluar pompa



Gambar 3.9 Simulasi Ketinggian Air Keluar Pompa

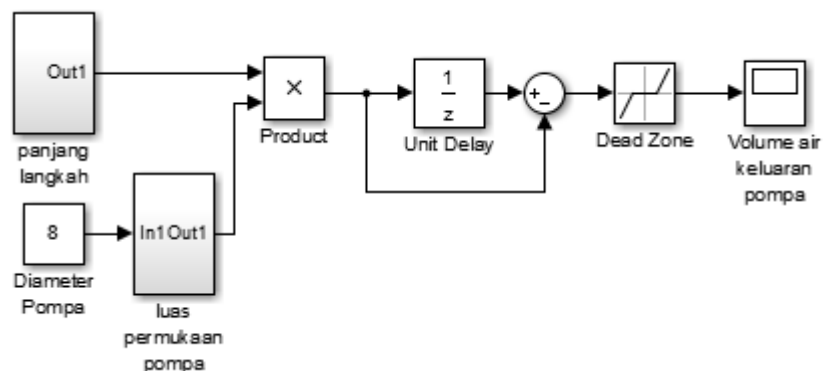
Untuk mendapatkan besaran ketinggian air keluar pompa dengan membagi hasil gaya ponton dengan massa jenis air laut, gaya gravitasi bumi, dan luas permukaan pompa dan hasilnya akan terlihat pada scope. Lebih jelasnya dapat melihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.10 Simulasi Luas Permukaan Pada Pompa

Gambar 3.10 merupakan gambar dari simulasi luas penampang pompa. Untuk mendapatkan besaran luas penampang pada pompa terlebih dahulu mengubah besaran luas penampang dari satuan inchi ke dalam meter dengan cara memasukkan besaran diameter penampang pompa dan konstanta sebesar 0.0254 ke dalam fungsi kali. Setelah itu, dimasukkan ke dalam fungsi kuadrat lalu dimasukkan ke dalam fungsi kali bersama dengan nilai phi dan di bagi dengan konstanta sebesar 4 dan hasilnya akan terlihat pada display dalam bentuk bilangan atau angka.

e. Simulasi Volume Air Keluaran Pompa

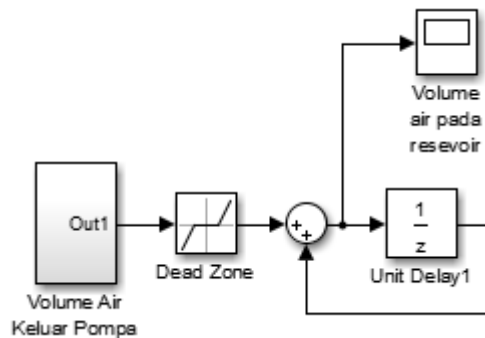


Gambar 3.11 Simulasi Volume Air Keluar Pompa

Untuk mendapatkan banyaknya volume air keluaran pompa dengan terlebih dahulu mengalikan panjang langkah dan luas permukaan pompa (dapat dilihat pada gambar 3.11). lalu dimasukkan ke fungsi delay dikurang dengan hasil perkalian panjang langkah dan luas permukaan pompa sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam fungsi dead zone dan hasilnya akan terlihat

pada scope dalam bentuk grafik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.11.

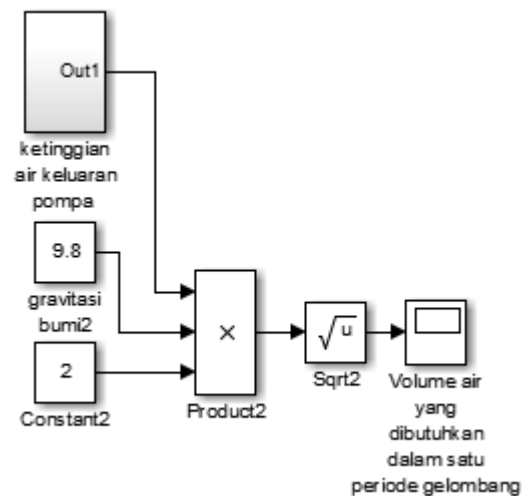
f. Simulasi Volume Air Pada Reservoir



Gambar 3.12 Simulasi Jumlah Air yang Ditampung di Reservoir

Untuk mendapatkan banyaknya volume air keluaran pompa dengan terlebih dahulu mengalikan panjang langkah dan luas permukaan pompa (dapat dilihat pada gambar 3.12). lalu dimasukkan ke fungsi delay dikurang dengan hasil perkalian panjang langkah dan luas permukaan pompa sebelumnya lalu dimasukkan ke dalam fungsi dead zone dan hasilnya akan terlihat pada scope dalam bentuk grafik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.12.

g. Simulasi Volume Air Yang Dibutuhkan



Gambar 3.13 Simulasi Volume Air Yang Dibutuhkan

Untuk mendapatkan banyaknya volume air yang dibutuhkan dengan mengalikan ketinggian air keluaran pompa, gaya gravitasi bumi dan konstanta bernilai 2 dan memasukkkan ke dalam fungsi akar dua dan akan terlihat hasilnya pada scope dalam bentuk grafik. Untuk lebih jelasnya dapt melihat pada gambar 3.13.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan memasukkan tiap-tiap ukuran unit ke dalam simulasi dan penghasilkan data. Untuk mendapatkan data dari simulasi diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tambahkan icon simout di libraries pada simulasi yang datanya akan diambil
2. Masuk pada tampilan awal matlab, klik open variasi lalu klik simout
3. Akan muncul tabel dari hasil simulasi

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik komparasi. Teknik komparasi adalah teknik perbandingan. Perbandingan yang dilakukan pada hasil simulasi dari tiap-tiap ukuran dan bentuk ponton pada setiap proses sehingga didapatkan model ponton yang optimal.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengembangan Produk

4.1.1 Tahapan Simulasi

Tahapan – tahapan dalam membuat simulasi:

1. Menentukan konstanta

konstanta yang digunakan dalam perhitungan yaitu phi (π) = 3,14; massa jenis air laut (ρ) = 1030 kg/m³; kg/m³ dan gravitasi bumi (g) = 9,8 m/s².

2. Menentukan Asumsi

Untuk mempermudah perhitungan, gelombang laut diasumsikan linear dengan panjang tuas $l_2 = 2$ meter; panjang tuas $l_1 = 4$ meter; diameter pompa (A_1) = 8 inchi; panjang langkah = Amplitudo gelombang = 1 meter; periode (T) = 4 detik; dan diameter keluaran reservoir (A_2) = 1 inchi.

3. Menentukan Ukuran pontoon dan bentuk ponton

Untuk mempermudah penelitian, bentuk gelombang diasumsikan berbentuk kubus, bola, dan tabung dengan besar volume masing-masing, yaitu 0,1 m³, 0,125 m³, dan 0,15 m³. Dengan volume yang sama pada setiap bentuk didapatkan ukuran yang berbeda pada setiap bentuk. Pada pontoon berbentuk kubus, dengan volume 0,1 m³ didapatkan ukuran sisi sebesar 0,464 meter. Pada pontoon berbentuk kubus, dengan volume 0,125 m³ didapatkan ukuran sisi sebesar 0,5

meter. Dan pada pontoon berbentuk kubus, dengan volume $0,15 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran sisi sebesar 0,531 meter (dapat dilihat pada tabel 4.1).

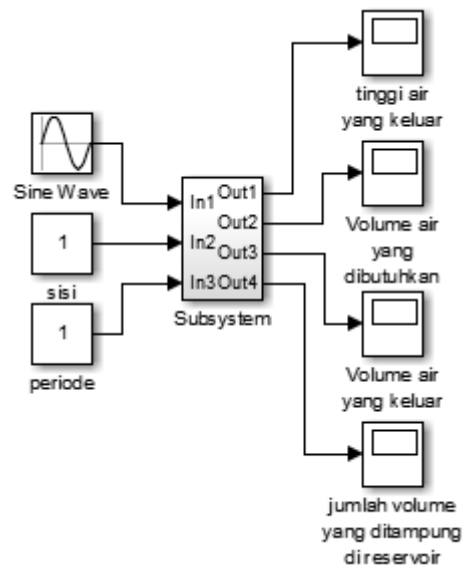
Pada ponton berbentuk tabung, dengan volume $0,1 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter serta tingginya sebesar 0,503 meter. Pada pontoon berbentuk tabung, dengan volume $0,125 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter serta tingginya sebesar 0,542 meter. Pada pontoon berbentuk tabung, dengan volume $0,15 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter serta tingginya sebesar 0,576 meter (dapat dilihat pada tabel 4.1).

Pada pontoon berbentuk bola, dengan volume $0,1 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter sebesar 0,576 meter. Pada pontoon berbentuk bola, dengan volume $0,125 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter sebesar 0,620 meter. Dan pada pontoon berbentuk bola, dengan volume $0,15 \text{ m}^3$ didapatkan ukuran diameter sebesar 0,660 meter (dapat dilihat pada tabel 4.1).

Tabel 4.1 Ukuran ponton yang digunakan

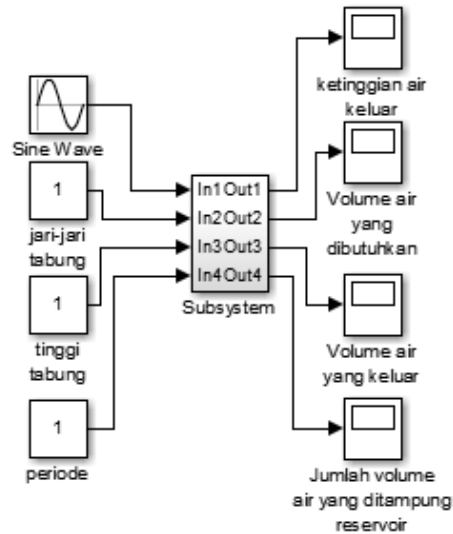
Bentuk Ponton				Volume (m^3)
Kubus	Tabung		Bola	
Sisi (s)	Diameter (d)	Tinggi (t)	Diameter (d)	
0,464 meter	0,400 meter	0,400 meter	0,576 meter	0,1
0,5 meter	0,430 meter	0,430 meter	0,620 meter	0,125
0,531 meter	0,457 meter	0,457 meter	0,660 meter	0,15

4.1.2 Simulasi Matlab



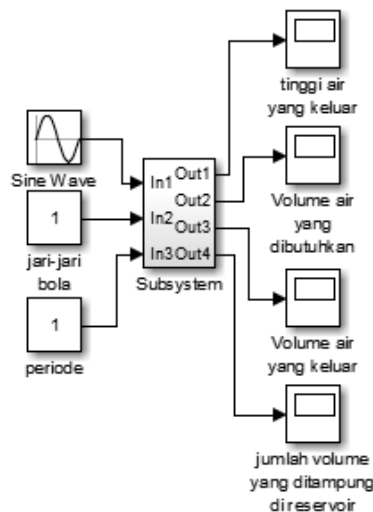
Gambar 4.1 Simulasi Pada Ponton Bentuk Kubus

Gambar 4.1 merupakan gambar simulasi untuk pontoon berbentuk kubus, di mana dengan memasukkan nilai amplitude dan frekuensi kedalam *sine wave* serta memasukkan nilai sisi kubus dan periode akan menghasilkan grafik tinggi air yang keluar, volume air yang dibutuhkan tiap ketinggian dalam satu periode, volume air yang keluar dari pompa, dan jumlah air yang ditampung reservoir.



Gambar 4.2 Simulasi Pada Ponton Bentuk Tabung

Gambar 4.2 merupakan gambar simulasi untuk pontoon berbentuk kubus, di mana dengan memasukkan nilai amplitudo dan frekuensi kedalam *sine wave* serta memasukkan nilai tinggi dan jari-jari tabung dan periode akan menghasilkan grafik tinggi air yang keluar, volume air yang dibutuhkan tiap ketinggian dalam satu periode, volume air yang keluar dari pompa, dan jumlah air yang ditampung reservoir.



Gambar 4.3 Simulasi Pada Ponton Bentuk Bola

Gambar 4.3 merupakan gambar simulasi untuk pontoon berbentuk kubus, di mana dengan memasukkan nilai amplitude dan frekuensi kedalam *sine wave* serta memasukkan nilai jari-jari bola dan periode akan menghasilkan grafik tinggi air yang keluar, volume air yang dibutuhkan dari tiap ketinggian dalam satu periode, volume air yang keluar dari pompa, dan jumlah air yang ditampung reservoir.

4.2 Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)

4.2.1 Ketinggian Air Pada Ponton Berbentuk Kubus

4.2.1.1 Pada Volume 0,1 m³

Tabel 4.2 Ponton Kubus Dengan Volume 0,1 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	5,212575889
0,2	0	2,4	4,11857848
0,4	0	2,6	3,153286649
0,6	0	2,8	2,316700396
0,8	0	3,0	0
1,0	14,47937747	3,2	0
1,2	12,6131466	3,4	0
1,4	10,8756213	3,6	0
1,6	9,266801583	3,8	0
1,8	7,786687443	4,0	0
2,0	6,435294818		

Tabel 4.2 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk kubus dengan volume $0,1 \text{ m}^3$, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 14,47937747 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.1.2 Pada Volume $0,125 \text{ m}^3$

Tabel 4.3 Ponton Kubus Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	7,028464996
0,2	0	2,4	5,553355056
0,4	0	2,6	4,251787465
0,6	0	2,8	3,123762219
0,8	0	3,0	0
1,0	19,52351387	3,2	0
1,2	17,00714986	3,4	0
1,4	14,6643282	3,6	0
1,6	12,49504888	3,8	0
1,8	10,49931191	4,0	0
2,0	8,677117275		

Tabel 4.3 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk kubus dengan volume $0,125 \text{ m}^3$, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi

sebesar 19,52351387 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.1.3 Pada Volume $0,15 \text{ m}^3$

Tabel 4.4 Ponton Kubus Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	39,14573862
0,2	0	2,4	31,70804828
0,4	0	2,6	25,05327272
0,6	0	2,8	19,18141193
0,8	0	3,0	0
1,0	0	3,2	0
1,2	88,0779119	3,4	0
1,4	76,7256477	3,6	0
1,6	66,15629827	3,8	0
1,8	56,36986362	4,0	0
2,0	47,36634373		

Tabel 4.4 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk kubus dengan volume $0,15 \text{ m}^3$, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 88,0779119 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.2 Ketinggian Air Pada Ponton Tabung

4.2.2.1 Pada Volume $0,1 \text{ m}^3$

Tabel 4.5 Ponton Tabung Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	1,774025048
0,2	0	2,4	1,401698803
0,4	0	2,6	1,073175646
0,6	0	2,8	0,788455577
0,8	0	3,0	0
1,0	4,927847356	3,2	0
1,2	4,292702586	3,4	0
1,4	3,701360903	3,6	0
1,6	3,153822308	3,8	0
1,8	2,6500868	4,0	0
2,0	2,19015438		

Tabel 4.5 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume $0,1 \text{ m}^3$, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 4,927847356 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.2.2 Pada Volume 0,125 m³

Tabel 4.6 Ponton Tabung Dengan Volume 0,125 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	2,369155706
0,2	0	2,4	1,871925496
0,4	0	2,6	1,433192958
0,6	0	2,8	1,052958092
0,8	0	3,0	0
1,0	6,580988073	3,2	0
1,2	5,732771833	3,4	0
1,4	4,943053264	3,6	0
1,6	4,211832367	3,8	0
1,8	3,539109142	4,0	0
2,0	2,924883588		

Tabel 4.6 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume 0,125 m³, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 6,580988073 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.2.3 Pada Volume 0,15 m³

Tabel 4.7 Ponton Tabung Dengan Volume 0,15 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	7,627982989
0,2	0	2,4	6,027048288
0,4	0	2,6	4,614458845
0,6	0	2,8	3,390214662
0,8	0	3,0	0
1,0	21,18884164	3,2	0
1,2	18,45783538	3,4	0
1,4	15,91517439	3,6	0
1,6	13,56085865	3,8	0
1,8	11,39488817	4,0	0
2,0	9,41726295		

Tabel 4.7 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume 0,125 m³, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 21,18884164 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.3 Ketinggian Air Pada Ponton Bola

4.2.3.1 Pada Volume 0,1 m³

Tabel 4.8 Ponton Bola Dengan Volume 0,1 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	3,390214662
0,2	0	2,4	2,678688128
0,4	0	2,6	2,050870598
0,6	0	2,8	1,506762072
0,8	0	3,0	0
1,0	9,41726295	3,2	0
1,2	8,203482392	3,4	0
1,4	7,073410838	3,6	0
1,6	6,027048288	3,8	0
1,8	5,064394742	4,0	0
2,0	4,1854502		

Tabel 4.8 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume 0,125 m³, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 9,41726295 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.3.2 Pada Volume 0,125 m³

Tabel 4.9 Ponton Bola Dengan Volume 0,125 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	4,550970518
0,2	0	2,4	3,595828557
0,4	0	2,6	2,753056239
0,6	0	2,8	2,022653564
0,8	0	3,0	0
1,0	12,64158477	3,2	0
1,2	11,01222496	3,4	0
1,4	9,495234784	3,6	0
1,6	8,090614254	3,8	0
1,8	6,798363366	4,0	0
2,0	5,618482121		

Tabel 4.9 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume 0,125 m³, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 12,64158477 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.2.3.3 Pada Volume 0,15 m³

Tabel 4.10 Ponton Bola Dengan Volume 0,1 m³

Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung	Waktu (detik)	Ketinggian Air Hitung
0,0	0	2,2	5,844037664
0,2	0	2,4	4,617511241
0,4	0	2,6	3,535282044
0,6	0	2,8	2,597350073
0,8	0	3,0	0
1,0	16,23343796	3,2	0
1,2	14,14112817	3,4	0
1,4	12,19311562	3,6	0
1,6	10,38940029	3,8	0
1,8	8,72998219	4,0	0
2,0	7,214861314		

Tabel 4.10 merupakan tabel dari hasil perhitungan ketinggian air pada ponton berbentuk tabung dengan volume 0,125 m³, di mana air pada waktu $t = 1$ detik akan menghasilkan ketinggian air tertinggi sebesar 16,23343796 meter dan terus menurun hingga tidak lagi mengeluarkan air (pada waktu $t = 3$ detik).

4.3 Efektifitas Produk

4.3.1 Hasil Simulasi Variasi Bentuk Terhadap Ukuran

4.3.1.1 Ponton Bervolume 0,1 m³

Tabel 4.11 Hasil Simulasi Pada Ponton Bervolume 0,1 m³

	Bentuk Ponton		
	Kubus	Tabung	Bola
Ketinggian Air	14,01078389	8,54754156010766	16,3346063
Volume Air Yang Keluar	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Jumlah Volume Yang Ditampung	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Volume Air Yang Dibutuhkan	0,033570386	0,0262207872976286	0,036247616

Tabel 4.11 merupakan tabel hasil simulasi dari ponton yang bervolume 0,1 m³. Di mana ponton berbentuk bola menghasilkan tinggi air tertinggi dari bentuk ponton kubus dan tabung. Dan ponton berbentuk tabung menghasilkan ketinggian air yang lebih rendah dibandingkan ponton berbentuk bola dan kubus. Besarnya

kebutuhan air tergantung pada ketinggian air, semakin besar ketinggian air maka kebutuhan air dalam satu periode akan semakin besar.

4.3.1.2 Ponton Bervolume $0,125 \text{ m}^3$

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Pada Ponton Bervolume $0,125 \text{ m}^3$

	Bentuk Ponton		
	Kubus	Tabung	Bola
Ketinggian Air	18,89167778	11,4149779817334	21,92731703
Volume Air Yang Keluar	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Jumlah Volume Yang Ditampung	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Volume Air Yang Dibutuhkan	0,038981665	0,0303013973208221	0,041996961

Tabel 4.12 merupakan tabel hasil simulasi dari ponton yang bervolume $0,125 \text{ m}^3$. Di mana ponton berbentuk bola menghasilkan tinggi air tertinggi dari bentuk ponton kubus dan tabung. Dan ponton berbentuk tabung menghasilkan ketinggian air yang lebih

rendah dibandingkan ponton berbentuk bola dan kubus. Besarnya kebutuhan air tergantung pada ketinggian air, semakin besar ketinggian air maka kebutuhan air dalam satu periode akan semakin besar.

4.3.1.3 Ponton Bervolume 0,15 m³

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Pada Ponton Bervolume 0,15 m³

	Bentuk Ponton		
	Kubus	Tabung	Bola
Ketinggian Air	24,03082034	14,5635099238815	28,1575251
Volume Air Yang Keluar	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Jumlah Volume Yang Ditampung	0,002301952	0,002301952	0,002301952
Volume Air Yang Dibutuhkan	0,043965237	0,0342261575395152	0,047590729

Tabel 4.13 merupakan tabel hasil simulasi dari ponton yang bervolume 0,15 m³. Di mana ponton berbentuk bola menghasilkan

tinggi air tertinggi dari bentuk ponton kubus dan tabung. Dan ponton berbentuk tabung menghasilkan ketinggian air yang lebih rendah dibandingkan ponton berbentuk bola dan kubus. Besarnya kebutuhan air tergantung pada ketinggian air, semakin besar ketinggian air maka kebutuhan air dalam satu periode akan semakin besar.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Ketinggian Air

Tabel 4.14 Hasil Simulasi Ketinggian Air dan Hasil Hitung Ketinggian Air

Bentuk Ponton	Volume Ponton (m ³)	Ketinggian Air (H)	Ketinggian Air Hitung (H _{hitung})
Kubus	0,1	14,01078389	14,47937747
	0,125	18,89167778	19,52351387
	0,15	24,03082034	24,83453612
Tabung	0,1	8,54754156010766	4,927847356
	0,125	11,4149779817334	6,580988073
	0,15	14,5635099238815	8,396186595
Bola	0,1	16,3346063	9,41726295
	0,125	21,92731703	12,64158477
	0,15	28,1575251	16,23343796

Tabel 4.14 merupakan tabel perbandingan antara hasil simulasi ketinggian air dan hasil perhitungan ketinggian air, di mana hasil simulasi ketinggian air menghasilkan besaran yang jauh dari hasil

perhitungan. Dari hasil simulasi ketinggian air dan hasil perhitungan ketinggian air ponton berbentuk bola dengan volume $0,15 \text{ m}^3$ menghasilkan ketinggian yang jauh lebih besar dibandingkan ponton berbentuk kubus pada volume $0,1 \text{ m}^3$; $0,125 \text{ m}^3$; dan $0,15 \text{ m}^3$, ponton berbentuk tabung pada volume $0,1 \text{ m}^3$; $0,125 \text{ m}^3$; dan $0,15 \text{ m}^3$ dan pada ponton berbentuk bola dengan volume $0,1 \text{ m}^3$; dan $0,125 \text{ m}^3$.

4.4.2 Volume Air Yang Keluar

Tabel 4.15 Hasil Simulasi dan Perhitungan Pada Volume Air Yang Keluar

Bentuk Ponton	Volume Ponton (m^3)	Volume Air Yang Keluar (V_{keluar})	Volume Air Yang Keluar dari perhitung ($V_{keluar_{hitung}}$)
Kubus	0,1	0,002301952	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952
Tabung	0,1	0,002301952	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952
Bola	0,1	0,002301952	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952

Tabel 4.15 merupakan tabel pada volume air yang keluar dari hasil simulasi dan hasil perhitungan, Hasil pada simulasi, hasil pada

perhitungan, bentuk ponton dan ukuran ponton tidak mempengaruhi besaran volume air yang keluar karena besaran volume air yang keluar tergantung pada ketinggian gelombang laut (A).

4.4.3 Jumlah Volume Yang Ditampung

Tabel 4.16 Hasil Simulasi dan Perhitungan Pada Jumlah Air Yang Ditampung

Bentuk Ponton	Volume Ponton (m^3)	Jumlah Volume Yang Ditampung (V)	Jumlah Volume Yang Ditampung dari perhitungan ($V_{tampung_{hitung}}$)
Kubus	0,1	0,002301952	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952
Tabung	0,1	0,0023019	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952
Bola	0,1	0,002301952	0,002301952
	0,125	0,002301952	0,002301952
	0,15	0,002301952	0,002301952

Tabel 4.16 merupakan tabel hasil simulasi dan perhitungan dari volume air yang ditampung di reservoir. Hasil pada simulasi, perhitungan, bentuk ponton dan ukuran ponton tidak mempengaruhi besaran volume air yang ditampung di reservoir. Banyaknya air yang

ditampung direservoir tergantung pada banyaknya air yang keluar dari pompa.

4.4.4 Volume Air Yang Dibutuhkan

Tabel 4.17 Hasil Simulasi dan Perhitungan Pada Volume Air Yang Dibutuhkan

Bentuk Ponton	Volume Ponton (m^3)	Volume Air Yang Dibutuhkan (V)	Volume Air Yang Dibutuhkan pada perhitungan ($V_{butuh_{hitung}}$)
Kubus	0,1	0,033570386	0,0350745696
	0,125	0,038981665	0,040123384
	0,15	0,043965237	0,043115672
Tabung	0,1	0,0262207872976286	0,005008099854
	0,125	0,0303013973208221	0,0230075655
	0,15	0,0342261575395152	0,025987599
Bola	0,1	0,036247616	0,026839283
	0,125	0,041996961	0,032463279
	0,15	0,047590729	0,037463279

Tabel 4.17 merupakan tabel hasil simulasi dan perhitungan dari volume air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin dalam satu periode. Hasil pada simulasi dan perhitungan menunjukkan kebutuhan air pada bola dengan volume 0,15 m^3 lebih besar dibandingkan dengan bentuk dan ukuran ponton lainnya.

BAB V

KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Ponton berbentuk bola dengan volume $0,15 \text{ m}^3$ menghasilkan ketinggian air tertinggi yaitu 28,1575251 meter pada simulasi dan 16,23343796 dari perhitungan.
2. Ponton berbentuk tabung dengan volume $0,1 \text{ m}^3$ menghasilkan ketinggian air terendah yaitu, 8,54754156010766 meter dari hasil simulasi dan 4,927847356 meter dari hasil perhitungan.

5.2 SARAN

Untuk mendapatkan performa yang optimal disarankan untuk menggunakan volume yang besar dan juga disarankan menggunakan ponton berbentuk bola.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Supagat Susanna. 2011. “Pengantar oseanografi”.
(<https://allaboutfisheriesteory.files.wordpress.com/2011/09/pengantar-oseanografi.pdf>
diakses 18 desember 2017)

Astuti, Lusia Tri & P. Sunardi, Matematika. Jakarta:Swadaya Murni,CV,2009.

Badan Penelitian Dan Pengembangan Kelautan Dan Perikanan, *Inovasi Kelautan Dan Perikanan Memperkuat Konsep Ekonomi Biru*, Jakarta: Badan Penelitian Dan Pengembangan Kelautan Dan Perikanan ,2013.

Badan Pusat Statistik. “Dokumentasi Sensus Penduduk.”
(<http://sp2010.bps.go.id/index.php/dokumentasi/index>, di akses 03 Agustus 2017)

Billy Wells. 2012. “Wave Energy System.”
(<http://my.fit.edu/~swood/Wave%20Energy%20Systems%20Final%20Report%202012.pdf>, di akses 03 Agustus 2017)

F. Ferguson, Christopher. 2011. “Submerged Pressure Differential Wave Energy Converter.”
(<http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1033&context=physsp>, di akses 03 Agustus 2017)

Giancoli, *Fisika Jilid 1*, Jakarta: Erlangga,2001.

henri O. Berteaux., “Coastal and Oceanic bouy engineering”, Gulf Publishing Corporation.

(<https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiUpJKErFHYAhWBiLwKHRoADLUQFgg3MAE&url=https%3A%2F%2Flibrary.oregonstate.edu%2Fdownload%2Fs%2Ft435gg682&usg=AOvVaw25zc-T5FbfQaXFP6H6WaNy> diakses 8 januari 2018)

Hutabarat, Sahala & Stewart M. Evans, *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia, 1985.

[IRENA] The International Renewable energy Agency. 2014. “Wave Energy Technology Brief.”
(http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Wave-Energy_V4_web.pdf, di unduh 04 agustus 2017)

Jahangir Khan, dan S. Bhuyan, Gouri. 2009. “Ocen Energy: Global Technology Development Status”
(http://www.energybc.ca/cache/tidal/annex_1_doc_t0104-1.pdf, di unduh 04 Agustus 2017)

Jamrud Aminuddin, Dasar-Dasar Fisika Komputasi Menggunakan MATLAB, Yogyakarta: Gava Media, 2008.

Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2016. “Jurnal Energi Media Komunikasi Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Edisi 01.” (<http://www.esdm.go.id/>, di unduh 09 februari 2017).

Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2016. “Jurnal Energi Media Komunikasi Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Edisi 01.” (<http://www.esdm.go.id/>, di unduh 09 februari 2017).

Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2016. “Outlook Energi Indonesia 2015.” (<http://www.esdm.go.id/>, diunduh 09 februari 2017).

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

[https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=40](https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=40&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjomJ-)

[Wxt7YAhVOObwKHRPiBnk4HhAWCF8wCQ&url=http%3A%2F%2Fcip-takarya.pu.go.id%2Fplp%2Fupload%2Fperaturan%2FTata_Cara_Perencanaan%2C_Pelaksanaan%2C_Operasi_Pemeliharaan_Sistem_Pompa.pdf&usg=AOvVaw23IxbXUFEdR6lJmjvwVSf](https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=40&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjomJ-Wxt7YAhVOObwKHRPiBnk4HhAWCF8wCQ&url=http%3A%2F%2Fcip-takarya.pu.go.id%2Fplp%2Fupload%2Fperaturan%2FTata_Cara_Perencanaan%2C_Pelaksanaan%2C_Operasi_Pemeliharaan_Sistem_Pompa.pdf&usg=AOvVaw23IxbXUFEdR6lJmjvwVSf) (di unduh 17 januari 2018).

Les Duckers. “Wave Energy.” (<http://www.uvm.edu/~gflomenh/ENRG-POL-PA395/readings/wave.PDF>, di uduh 03 agustus 2017)

Marko Hočevár. “Introduction to turbine

machinery”.(<https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=45&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj9yd->

[lsHXAhVEOJQKHQR2BYM4KBAWCEkwBA&url=http%3A%2F%2Flab.fs.uni-](https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=45&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj9yd-lsHXAhVEOJQKHQR2BYM4KBAWCEkwBA&url=http%3A%2F%2Flab.fs.uni-)

[lj.si%2Fkes%2Fturbinski_stroji%2Fintroduction_to_turbine_machinery.pdf&usg=AOvVaw1bIQFJ7ozl_L9W7tXjh7z7](https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=45&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj9yd-lsHXAhVEOJQKHQR2BYM4KBAWCEkwBA&url=http%3A%2F%2Flab.fs.uni-lj.si%2Fkes%2Fturbinski_stroji%2Fintroduction_to_turbine_machinery.pdf&usg=AOvVaw1bIQFJ7ozl_L9W7tXjh7z7), di unduh 03 agustus 2017)

Massus Subekti. 2009.

Plastic Wave Management Institute. 2009. “A Introduction to Plastic Recycling”. (https://www.pwmi.or.jp/ei/plastic_recycling_2009.pdf diakses 1 januari 2018)

Rithaudin, Ahmad& Tarmudi B, *Matematika*, Jakarta: PT Sarana Panca Karya Nusa, 2011.

Surdijani D. Teori Ringkasan Latihan Soal Dan Pembahasan Fiskia SMP, Yogyakarta: Intersolusi Pressindo, 2007.

Stroud, K. A., *Matematika Teknik Edisi ke-5 Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 2003.

Sunyoto. 2008. “Teknik Mesin Industri Jilid1”. ([https://bsd.pendidikan.id/data/SMK_10/Teknik Mesin Industri Jilid 1 Kela 10 Drs Sunyoto 2008.pdf](https://bsd.pendidikan.id/data/SMK_10/Teknik_Mesin_Industri_Jilid_1_Kela_10_Drs_Sunyoto_2008.pdf) diakses 8 januario 2018)

Sunyoto. 2008. “Teknik Mesin Industri Jilid2”. (<https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjMvuqLnvDYAhWDi7wKHdpiCb4QFggMAA&url=http%3A%2F%2Fpsbtik.smkn1cms.net%2Fbse%2Fsmk%2Fsmk11%2520TeknikMesinIndustri%2520Sunyoto.pdf&usg=AOvVaw093NjgOEIMpa7LLkd344Z4> diakses 8 januario 2018)

Suyitno M., *Pembangkit Energi Listrik*, Jakarta: Rineka Cipta, 2011.

Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume 0,1 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	14,01078389	0,033570386	0	0
1,4	12,69451503	0,031954584	0,002301952	0,002301952
1,6	10,77367444	0,029437915	0,003585374	0,005887326
1,8	8,577518025	0,026266726	0,004517835	0,010405162
2,0	6,435278876	0,022751435	0,005008059	0,015413221
2,2	4,600296953	0,019236145	0,005008059	0,02042128
2,4	3,208550401	0,016064956	0,004517835	0,024939115
2,6	2,282015078	0,013548286	0,003585374	0,028524489
2,8	1,770156073	0,011932485	0,002301952	0,030826441
3,0	1,608819719	0,011375718	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume 0,125 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	18,89167778	0,038981665	0	0
1,4	17,11686436	0,037105409	0,002301952	0,002301952
1,6	14,52686641	0,034183072	0,003585374	0,005887326
1,8	11,56564172	0,030500712	0,004517835	0,010405162
2,0	8,677117275	0,026418786	0,005008059	0,015413221
2,2	6,202888317	0,022336859	0,005008059	0,02042128
2,4	4,32630328	0,018654499	0,004517835	0,024939115
2,6	3,076993684	0,015732162	0,003585374	0,028524489
2,8	2,386819924	0,013855907	0,002301952	0,030826441
3,0	2,169279319	0,013209393	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Kubus Dengan Volume 0,15 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	24,03082034	0,043965237	0	0
1,4	21,77320072	0,041849113	0,002301952	0,002301952
1,6	18,47864022	0,038553173	0,003585374	0,005887326
1,8	14,71186739	0,034400046	0,004517835	0,010405162
2,0	11,03757161	0,029796269	0,005008059	0,015413221
2,2	7,890272979	0,025192492	0,005008059	0,02042128
2,4	5,503196596	0,021039365	0,004517835	0,024939115
2,6	3,914034702	0,017743425	0,003585374	0,028524489
2,8	3,036111533	0,015627301	0,002301952	0,030826441
3,0	2,759392902	0,014898134	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Tabung Dengan Volume 0,1 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	8,54754156010766	0,0262207872976286	0	0
1,4	7,94402418967261	0,0252781563641640	0,00230192	0,002301952
1,6	7,04802795523967	0,0238099742643373	0,00358534	0,005887326
1,8	5,99532502471671	0,0219599568915056	0,00451785	0,010405162
2,0	4,92784735569472	0,0199091968359507	0,00500809	0,015413221
2,2	3,96494025325629	0,0178584367803958	0,00500809	0,02042128
2,4	3,18600662027192	0,0160084194075641	0,00451785	0,024939115
2,6	2,62840784774905	0,0145402373077373	0,00358534	0,028524489
2,8	2,29865977485259	0,0135976063742728	0,00230192	0,030826441
3,0	2,19015438030876	0,0132727978906338	0,00079319	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Tabung Dengan Volume 0,125 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	11,4149779817334	0,0303013973208221	0	0
1,4	10,6089991576863	0,0292120694483371	0,002301952	0,002301952
1,6	9,41242383648489	0,0275154015092248	0,003585374	0,005887326
1,8	8,00657155852597	0,0253774751827461	0,004517835	0,010405162
2,0	6,58098807324080	0,0230075655935455	0,005008059	0,015413221
2,2	5,29505535264564	0,0206376560043449	0,005008059	0,02042128
2,4	4,25481352320010	0,0184997296778663	0,004517835	0,024939115
2,6	3,51015756964542	0,0168030617387540	0,003585374	0,028524489
2,8	3,06978919411165	0,0157137338662690	0,002301952	0,030826441
3,0	2,92488358810702	0,0153383770623637	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Tabung Dengan Volume 0,15 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	14,5635099238815	0,0342261575395152	0	0
1,4	13,5352222985149	0,0329957354906206	0,002301952	0,002301952
1,6	12,0086020463449	0,0310793082195786	0,003585374	0,005887326
1,8	10,2149811007479	0,0286644689802128	0,004517835	0,010405162
2,0	8,39618659509967	0,0259875990624467	0,005008059	0,015413221
2,2	6,75556197297600	0,0233107291446805	0,005008059	0,02042128
2,4	5,42839583821782	0,0208958899053147	0,004517835	0,024939115
2,6	4,47834544067653	0,0189794626342727	0,003585374	0,028524489
2,8	3,91651262614877	0,0177490405853781	0,002301952	0,030826441
3,0	3,73163848671097	0,0173250660416311	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Bola Dengan Volume 0,1 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	16,3346063	0,036247616	0	0
1,4	15,18126664	0,034944523	0,002301952	0,002301952
1,6	13,46899117	0,032914908	0,003585374	0,005887326
1,8	11,45724454	0,030357444	0,004517835	0,010405162
2,0	9,417262949	0,027522474	0,005008059	0,015413221
2,2	7,577118821	0,024687503	0,005008059	0,02042128
2,4	6,088553467	0,022130039	0,004517835	0,024939115
2,6	5,022965618	0,020100424	0,003585374	0,028524489
2,8	4,392807238	0,018797331	0,002301952	0,030826441
3,0	4,1854502	0,018348316	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Bola Dengan Volume 0,125 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	21,92731703	0,041996961	0	0
1,4	20,37909212	0,04048718	0,002301952	0,002301952
1,6	18,08056063	0,038135642	0,003585374	0,005887326
1,8	15,38002378	0,035172531	0,004517835	0,010405162
2,0	12,64158477	0,031887897	0,005008059	0,015413221
2,2	10,17140441	0,028603263	0,005008059	0,02042128
2,4	8,173177833	0,025640152	0,004517835	0,024939115
2,6	6,742749567	0,023288613	0,003585374	0,028524489
2,8	5,896834928	0,021778833	0,002301952	0,030826441
3,0	5,618482121	0,021258598	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Simulasi Ponton Bola Dengan Volume 0,15 m³

Waktu	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,2	28,1575251	0,047590729	0	0
1,4	26,16940309	0,045879854	0,002301952	0,002301952
1,6	23,21778989	0,043215103	0,003585374	0,005887326
1,8	19,74994958	0,039857322	0,004517835	0,010405162
2,0	16,23343796	0,036135192	0,005008059	0,015413221
2,2	13,06140531	0,032413063	0,005008059	0,02042128
2,4	10,49542266	0,029055281	0,004517835	0,024939115
2,6	8,658566842	0,026390531	0,003585374	0,028524489
2,8	7,572302497	0,024679656	0,002301952	0,030826441
3,0	7,214861313	0,024090128	0,000793199	0,03161964
3,2	0	0	0	0,03161964
3,4	0	0	0	0,03161964
3,6	0	0	0	0,03161964
3,8	0	0	0	0,03161964
4,0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Kubus Dengan Volume = $0,1 \text{ m}^3$; sisi = $0,464 \text{ m}$; dan luas permukaan = $1,291776 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,645888	0	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,7104768	0	0	0	0	0	0
0,4	0,6	0,7750656	0	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,8396544	0	0	0	0	0	0
0,8	0,7	0,9042432	0	0	0	0	0	0
1,0	0,75	0,968832	2368,646543	4737,293086	14,47937747	0,035074569	0	0
1,2	0,7	0,9042432	2063,354322	4126,708644	12,6131466	0,032078978	0	0
1,4	0,65	0,8396544	1779,116737	3558,233474	10,8756213	0,030876498	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,7750656	1515,933788	3031,867576	9,266801583	0,028075346	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,7104768	1273,805475	2547,61095	7,786687443	0,027648291	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,645888	1052,734405	2105,46881	6,435294818	0,022763528	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,5812992	852,7127557	1705,425511	5,212575889	0,020362542	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,5167104	673,7483502	1347,4967	4,11857848	0,019635184	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,4521216	515,8385806	1031,677161	3,153286649	0,016736482	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,3875328	378,983447	757,966894	2,316700396	0,013627459	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,322944	0	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,3875328	0	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,4521216	0	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,5167104	0	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,5812992	0	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,645888	0	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Kubus Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$; sisi = 0,5 m; dan luas permukaan = $1,5 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,75	0	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,825	0	0	0	0	0	0
0,4	0,6	0,9	0	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,975	0	0	0	0	0	0
0,8	0,7	1,05	0	0	0	0	0	0
1,0	0,75	1,125	3193,804688	6387,609376	19,52351387	0,040123384	0	0
1,2	0,7	1,05	2782,15875	5564,3175	17,00714986	0,036537392	0	0
1,4	0,65	0,975	2398,902188	4797,804376	14,6643282	0,035264629	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,9	2044,035	4088,07	12,49504888	0,031236492	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,825	1717,557188	3435,114376	10,49931191	0,029474628	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,75	1419,46875	2838,9375	8,677117275	0,026418786	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,675	1149,769688	2299,539376	7,028464996	0,023973536	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,6	908,46	1816,92	5,553355056	0,021625391	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,525	695,5396875	1391,079375	4,251787465	0,018037452	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,45	511,00875	1022,0175	3,123762219	0,015243719	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,375	0	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,45	0	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,525	0	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,6	0	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,675	0	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,75	0	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Kubus Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$; sisi = $0,531 \text{ m}$; dan luas permukaan = $1,691766 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,845883	1805,609798	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,9304713	2184,787856	0	0	0	0	0
0,4	0,6	1,0150596	2600,07811	0	0	0	0	0
0,6	0,65	1,0996479	3051,480559	0	0	0	0	0
0,8	0,7	1,1842362	3538,995205	0	0	0	0	0
1,0	0,75	1,2688245	4062,622046	8125,244093	24,83453612	0,043115672	0	0
1,2	0,7	1,1842362	3538,995205	7077,99041	21,63364035	0,036537392	0	0
1,4	0,65	1,0996479	3051,480559	6102,961119	18,65349602	0,035264629	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	1,0150596	2600,07811	5200,156219	15,89410312	0,031236492	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,9304713	2184,787856	4369,575712	13,35546165	0,029474628	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,845883	1805,609798	3611,219597	11,03757161	0,026418786	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,7612947	1462,543937	2925,087873	8,940433002	0,023973536	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,6767064	1155,590271	2311,180542	7,064045829	0,021625391	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,5921181	884,7488012	1769,497602	5,408410088	0,018037452	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,5075298	650,0195274	1300,039055	3,973525779	0,015243719	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,4229415	451,4024496	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,5075298	650,0195274	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,5921181	884,7488012	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,6767064	1155,590271	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,7612947	1462,543937	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,845883	1805,609798	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Tabung Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$; jari-jari=0,20m; tinggi = 0,40 m; dan luas permukaan = $0,7536 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,3768	358,2820886	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,41448	433,5213273	0	0	0	0	0
0,4	0,6	0,45216	515,9262076	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,48984	605,4967298	0	0	0	0	0
0,8	0,7	0,52752	702,2328937	0	0	0	0	0
1,0	0,75	0,5652	806,1346994	1612,269399	4,927847356	0,005008099854	0	0
1,2	0,7	0,52752	702,2328937	1404,465787	4,292702586	0,00500809742	0	0
1,4	0,65	0,48984	605,4967298	1210,99346	3,701360903	0,005008	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,45216	515,9262076	1031,852415	3,153822308	0,00451978	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,41448	433,5213273	867,0426545	2,6500868	0,0039782	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,3768	358,2820886	716,5641773	2,19015438	0,00239877	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,33912	290,2084918	580,4169836	1,774025048	0,00724196	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,30144	229,3005367	458,6010735	1,401698803	0,00698534	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,26376	175,5582234	351,1164469	1,073175646	0,00658934	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,22608	128,9815519	257,9631038	0,788455577	0,002786518	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,1884	89,57052216	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,22608	128,9815519	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,26376	175,5582234	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,30144	229,3005367	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,33912	290,2084918	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,3768	358,2820886	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Tabung Dengan Volume 0,125 m³; jari-jari=0,215m; tinggi = 0,430 m; dan luas permukaan = 0,870879 m²

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,4354395	478,474673	0	0		0	0
0,2	0,55	0,47898345	578,9543544	0	0		0	0
0,4	0,6	0,5225274	689,0035291	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,56607135	808,6221974	0	0	0	0	0
0,8	0,7	0,6096153	937,8103591	0	0	0	0	0
1,0	0,75	0,65315925	1076,568014	2153,136029	6,580988073	0,0230075655	0	0
1,2	0,7	0,6096153	937,8103591	1875,620718	5,732771833	0,0219845272	0	0
1,4	0,65	0,56607135	808,6221974	1617,244395	4,943053264	0,0205430342	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,5225274	689,0035291	1378,007058	4,211832367	0,0200089765	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,47898345	578,9543544	1157,908709	3,539109142	0,0169874632	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,4354395	478,474673	956,949346	2,924883588	0,0153383770	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,39189555	387,5644851	775,1289703	2,369155706	0,0150032489	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,3483516	306,2237907	612,4475815	1,871925496	0,0147536984	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,30480765	234,4525898	468,9051796	1,433192958	0,0123749726	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,2612637	172,2508823	344,5017646	1,052958092	0,0120983642	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,21771975	119,6186683	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,2612637	172,2508823	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,30480765	234,4525898	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,3483516	306,2237907	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,39189555	387,5644851	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,4354395	478,474673	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Tabung Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$; jari-jari=0,2285 m; tinggi = 0,457 m; dan luas permukaan = $0,98367879 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,491839395	610,449767	0	0		0	0
0,2	0,55	0,541023335	738,644218	0	0		0	0
0,4	0,6	0,590207274	879,0476644	0	0		0	0
0,6	0,65	0,639391214	1031,660106	0	0		0	0
0,8	0,7	0,688575153	1196,481543	0	0		0	0
1,0	0,75	0,737759093	1373,511976	2747,023951	8,396186595	0,025987599	0	0
1,2	0,7	0,688575153	1196,481543	2392,963086	7,314011434	0,024546789	0	0
1,4	0,65	0,639391214	1031,660106	2063,320212	6,306469043	0,023198752	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,590207274	879,0476644	1758,095329	5,373559421	0,020753648	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,541023335	738,644218	1477,288436	4,515282569	0,019786352	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,491839395	610,449767	1220,899534	3,731638487	0,017325062	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,442655456	494,4643112	988,9286225	3,022627174	0,015426382	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,393471516	390,6878509	781,3757017	2,388248632	0,014278963	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,344287577	299,1203858	598,2407716	1,828502859	0,01328976	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,295103637	219,7619161	439,5238322	1,343389855	0,01257973	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,245919698	152,6124417	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,295103637	219,7619161	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,344287577	299,1203858	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,393471516	390,6878509	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,442655456	494,4643112	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,491839395	610,449767	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Bola Dengan Volume $0,1 \text{ m}^3$; diameter = 0,576 m; dan luas permukaan = $1,04177664 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,52088832	684,6877339	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,572977152	828,472158	0	0	0	0	0
0,4	0,6	0,625065984	985,9503368	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,677154816	1157,12227	0	0	0	0	0
0,8	0,7	0,729243648	1341,987958	0	0	0	0	0
1,0	0,75	0,78133248	1540,547401	3081,094802	9,41726295	0,026839283	0	0
1,2	0,7	0,729243648	1341,987958	2683,975917	8,203482392	0,025987599	0	0
1,4	0,65	0,677154816	1157,12227	2314,24454	7,073410838	0,024546789	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,625065984	985,9503368	1971,900674	6,027048288	0,022198752	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,572977152	828,472158	1656,944316	5,064394742	0,020753648	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,52088832	684,6877339	1369,375468	4,1854502	0,019786352	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,468799488	554,5970644	1109,194129	3,390214662	0,017325062	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,416710656	438,2001497	876,4002993	2,678688128	0,015426382	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,364621824	335,4969896	670,9939792	2,050870598	0,014278963	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,312532992	246,4875842	492,9751684	1,506762072	0,01328976	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,26044416	171,1719335	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,312532992	246,4875842	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,364621824	335,4969896	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,416710656	438,2001497	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,468799488	554,5970644	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,52088832	684,6877339	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Bola Dengan Volume $0,125 \text{ m}^3$; diameter = $0,620 \text{ m}$;dan luas permukaan = $1,207016 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,603508	919,11398	0	0	0	0	0
0,2	0,55	0,6638588	1112,127916	0	0	0	0	0
0,4	0,6	0,7242096	1323,524131	0	0	0	0	0
0,6	0,65	0,7845604	1553,302626	0	0	0	0	0
0,8	0,7	0,8449112	1801,463401	0	0	0	0	0
1,0	0,75	0,905262	2068,006455	4136,01291	12,64158477	0,032463279	0	0
1,2	0,7	0,8449112	1801,463401	3602,926801	11,01222496	0,030467347	0	0
1,4	0,65	0,7845604	1553,302626	3106,605252	9,495234784	0,028957424	0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,7242096	1323,524131	2647,048262	8,090614254	0,027313571	0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,6638588	1112,127916	2224,255831	6,798363366	0,024986732	0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,603508	919,11398	1838,22796	5,618482121	0,023985353	0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,5431572	744,4823238	1488,964648	4,550970518	0,022894762	0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,4828064	588,2329472	1176,465894	3,595828557	0,021674384	0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,4224556	450,3658502	900,7317004	2,753056239	0,020664256	0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,3621048	330,8810328	661,7620656	2,022653564	0,019986435	0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,301754	229,778495	0	0	0	0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,3621048	330,8810328	0	0	0	0	0,03161964
3,4	0,35	0,4224556	450,3658502	0	0	0	0	0,03161964
3,6	0,4	0,4828064	588,2329472	0	0	0	0	0,03161964
3,8	0,45	0,5431572	744,4823238	0	0	0	0	0,03161964
4,0	0,5	0,603508	919,11398	0	0	0	0	0,03161964

Hasil Perhitungan Ponton Bola Dengan Volume $0,15 \text{ m}^3$; diameter = 0,660 m; dan luas permukaan = $1,367784 \text{ m}^2$

Waktu	Bagian Ponton Yang Terendam	Luas Permukaan Ponton Yang Terendam	Gaya Ponton	Gaya Pompa	Ketinggian Air	Volume Air Yang Dibutuhkan	Volume Air Yang Keluar	Jumlah Volume Yang Ditampung
0,0	0,5	0,683892	1180,261813	0	0		0	0
0,2	0,55	0,7522812	1428,116794	0	0		0	0
0,4	0,6	0,8206704	1699,577011	0	0		0	0
0,6	0,65	0,8890596	1994,642465	0	0		0	0
0,8	0,7	0,9574488	2313,313154	0	0		0	0
1,0	0,75	1,025838	2655,58908	5311,178161	16,23343796	0,035847616	0	0
1,2	0,7	0,9574488	2313,313154	4626,626309	14,14112817		0	0
1,4	0,65	0,8890596	1994,642465	3989,284929	12,19311562		0,002301952	0,002301952
1,6	0,6	0,8206704	1699,577011	3399,154023	10,38940029		0,003585374	0,005887326
1,8	0,55	0,7522812	1428,116794	2856,233589	8,72998219		0,004517835	0,010405162
2,0	0,50	0,683892	1180,261813	2360,523627	7,214861314		0,005008059	0,015413221
2,2	0,45	0,6155028	956,0120689	1912,024138	5,844037664		0,005008059	0,02042128
2,4	0,4	0,5471136	755,3675606	1510,735121	4,617511241		0,004517835	0,024939115
2,6	0,35	0,4787244	578,3282886	1156,656577	3,535282044		0,003585374	0,028524489
2,8	0,3	0,4103352	424,8942528	849,7885057	2,597350073		0,002301952	0,030826441
3,0	0,25	0,341946	295,0654534	0	0		0,000793199	0,03161964
3,2	0,3	0,4103352	424,8942528	0	0		0	0,03161964
3,4	0,35	0,4787244	578,3282886	0	0		0	0,03161964
3,6	0,4	0,5471136	755,3675606	0	0		0	0,03161964
3,8	0,45	0,6155028	956,0120689	0	0		0	0,03161964
4,0	0,5	0,683892	1180,261813	0	0		0	0,03161964

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Rotua Bebianita P
Tempat, Tanggal Lahir : Tangerang, 12 Maret 1992
Jenis Kelamin : Perempuan
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Kristen Protestan

Alamat : Komplek L.U.K blok J no.9
Email : bebri_geheimnisvoll@yahoo.com

PENDIDIKAN FORMAL

1998-2004 : SDN Puspiptek
2004-2007 : SMP Negeri 2 Cisauk
2007-2010 : SMA Negeri 3 Tangerang Selatan
2010 : Universitas Negeri Jakarta

PENDIDIKAN NON-FORMAL

2002-2005 : KARATE

Demikian riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.